

博士論文

シダ植物の教材特性に関する研究

川上敏行

広島大学大学院 国際協力研究科

2008年3月

「シダ植物の教材特性に関する研究」

	頁
序 本研究の目的と研究方法	1
第一節 はじめに	
第二節 シダ植物の教材としての先行研究	
第三節 シダ植物の有性生殖に関する先行研究	
第四節 研究目的	
第五節 研究の視点と方法	
序 参考文献	9
第一部 学習指導要領および教科書におけるシダ植物の扱い	
第一章 戦後の学習指導要領と教科書におけるシダ植物の教材としての 取り扱いの変遷	12
第一節 調査方法	
第二節 各学校段階における変遷	
第三節 小・中・高等学校の変遷と相互の関連性	
第二章 教科書で扱われたシダ植物と生活で利用されてきたシダ植物	26
第一節 目的	
第二節 調査方法	
第三節 教科書で扱われたシダ植物と生活との関わり	
第四節 生活に利用されてきたシダ植物	
第一部 参考文献	38
調査した学習指導要領・教科書	39
第二部 シダ植物の教材としての特性	
第一章 シダ植物の生殖細胞に関する細胞学的特徴	49
第一節 目的	
第二節 雄性生殖細胞の形態および細胞学的特徴	
第三節 雌性生殖細胞の形態および細胞学的特徴	
第四節 考察	

第二章 シダ植物の受精	.....	64
第一節 目的		
第二節 材料		
第三節 造卵器内における受精		
第四節 精子と卵細胞に及ぼす浸透圧の影響		
第五節 単離卵細胞を用いた人工授精		
第六節 考察		
第三章 シダ植物の細胞分裂に関する研究	.....	74
第一節 目的		
第二節 材料		
第三節 方法		
第四節 結果		
第五節 考察		
第二部 参考文献	.....	92
総合考察 -シダ植物の教材化-	.....	100
第一節 実験・観察教材としてのシダ植物		
第二節 シダ植物の教材としての特性の考察		
第三節 新しい教材の選択例		
第四節 海外におけるシダ植物の教材化		
第五節 教材提供の方法についての検討		
第六節 まとめ		
総合考察 参考文献	.....	109

謝 辞

序

本研究の目的と研究方法

第一節 はじめに

戦後の学校教育の基礎となる学習指導要領は、1945年から2004年までに、小・中学校では6回、高等学校では7回改訂され、その都度学習の目標や内容が変化してきた。それらの学習の目標や内容も、各改訂時における時代背景や科学技術の進歩の影響を受けた。

その目標や内容は、生活単元・問題解決学習、系統学習、探究学習、豊かな人間性の形成、新しい学力観、生きる力、と変遷してきており、改訂ごとに特色が見られる。1945年から1970年まで（小学校が1968年、中学校が1969年、高等学校が1970年）は、科学技術の進歩を受け、学習内容が改訂ごとに増加した。しかし、1977年頃（小・中学校が1977年、高等学校が1978年）から『内容の精選』という名の下に教育内容の削減が始められた。現行の学習指導要領は1998年に小・中学校、1999年に高等学校の学習指導要領がそれぞれ改訂されたもので、この改訂では、『総合的な学習の時間』が設けられ、小学校では3～6学年の4年間で430時間、中学校では3年間で210～335時間、高等学校では卒業までに105～210時間が標準とされ、その結果、理科の授業時数が減らされた。さらに、小学校から高等学校の各学校段階で教育内容の厳選が大幅に図られた。

しかし最近では、生徒の学力低下問題が論争となっている。その一つの論点は、1970年代までは系統的に関連していた教育内容について、精選・厳選という名目で削減が行われ、教育内容の系統性が失われたということである。そのため、過去の変遷を分析し、各教材の教育的特性を検討し、現行の教育内容の系統化が必要と考えられる。

現在の生物の分類は、動物界、植物界、菌界、原生生物界、モネラ界の5つに分類する五界説が主流となっており、植物界はその柱のうちの1つとされている。このように、植物界は、生物において重要な分類群となっている。そして、この植物界における代表的な門には、コケ植物、シダ植物、種子植物がある。

コケ植物は、維管束が未分化な植物で、配偶体が発達し、胞子体は配偶体に寄生する形態をとっている。シダ植物は、胞子体と配偶体がそれぞれ独立した形態をとっている。種子植物は、維管束が発達した種子をつくる植物で、胞子体が発達し、配偶体は胞子体に寄生する形態をとっている。これらの植物の特徴を比較すると、コケ植物は乾燥に弱いものが多いのに対し、種子植物は乾燥に強いものが多いなど、コケ植物と種子植物は、反対の特徴を持つものが多い。それに対し、シダ植物は種子植物とコケ植物の中間の特徴を多く持っており、系統を考える上で重要な植物群である。

普段、野山で見られるシダ植物は複相世代の胞子体である。胞子体は葉の裏側に胞子嚢が集まった胞子嚢群を形成する。胞子嚢の中では胞子母細胞が減数分裂を行って胞子を形成する。この減数分裂によって染色体数が半減して単相世代となる。成熟した胞子のうは、乾燥すると裂開して胞子を周囲に散布する。散布された胞子は、発芽して成長し、ハート型をした前葉体と呼ばれる配偶体を形成する。前葉体では造精器と造卵器が形成され、それぞれ精子と卵細胞をつくる。精子が成熟した造精器は、雨水などの水に浸されると蓋細胞を開き、精子が膜に包まれた精細胞を放出する。その後、精子は膜を破って外に出て、水中を泳ぎ出す。卵細胞が成熟した造卵器は、同じく水に浸されると頸口が開き、精子誘引物質を外に出す。精子はこの物質に誘引されて頸口へとたどり着き、そこから造卵器内に侵入して卵細胞と受精する。この受精によって染色体数が倍加し、複相世代となる。そ

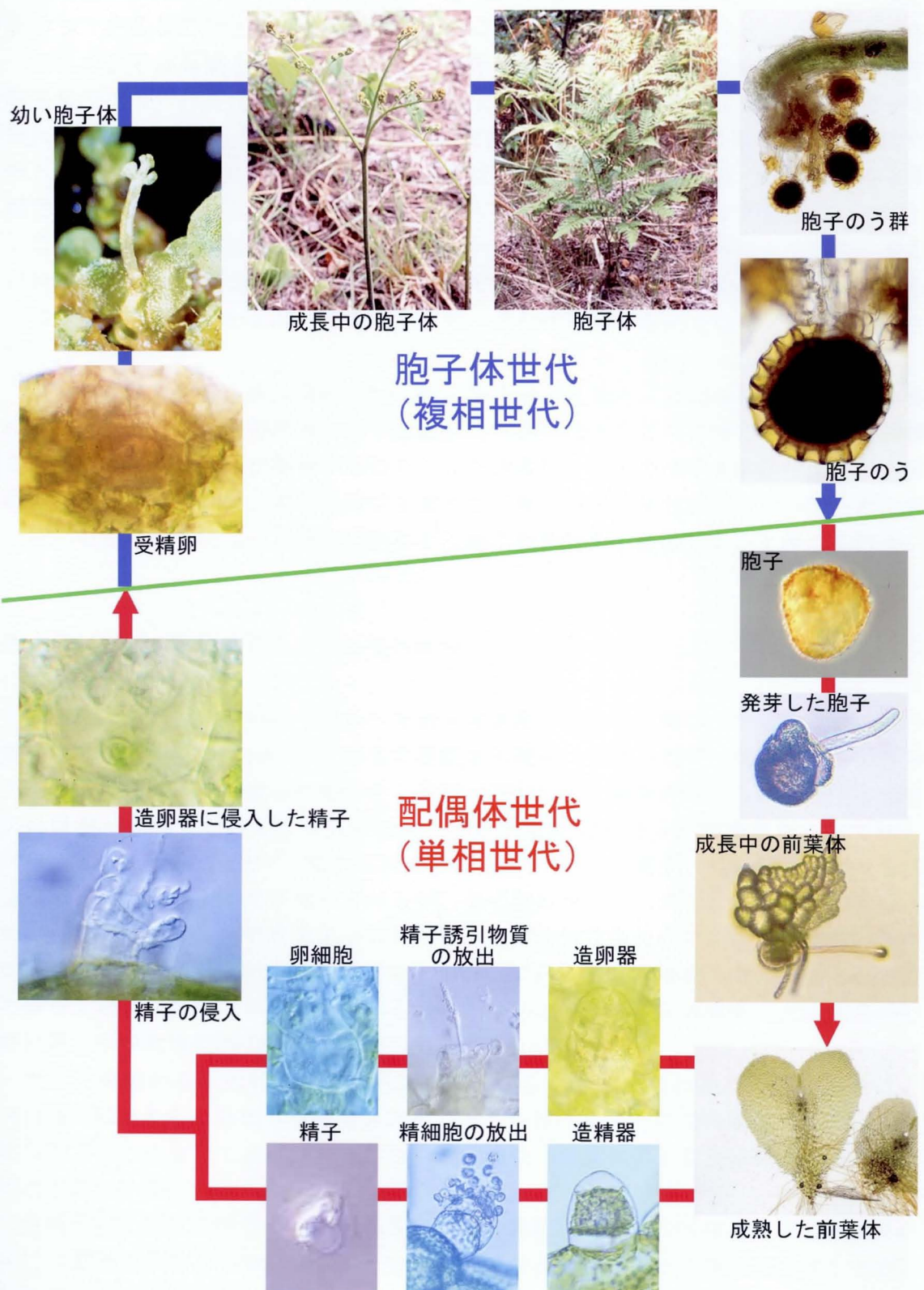


Fig.1 ワラビの生活環

の後、受精卵は胚発生を行い、根・茎・葉を持った若い胞子体が発達する。その後、数年かかって成長してもとの胞子体を形成する (Fig.1)。

以上のような特徴を持つシダ植物は、「種子をつけない維管束植物であるが、胞子体と配偶体がそれぞれ独立に生活しており、胞子体が優勢で、配偶体は目立たない姿をとる生物」、「維管束植物のうちで、種子植物段階まで進化せず、胞子段階にとどまっている植物」(岩槻 1992)とされ、胞子体が配偶体に寄生するコケ植物とも、配偶体が胞子体の内部に寄生して組織のような姿となってしまった種子植物とも異なっている。

このように、シダ植物は種子植物ともコケ植物とも異なる特徴を持っており、また、その特徴は種子植物とコケ植物の中間を示しているうえに、種子植物とコケ植物のどちらかと共通する特徴もあわせ持っており、植物の進化を理解する上でも重要な植物群とされている。

初等・中等教育の生命分野においては、歴史的に見ると、上記のシダ植物の重要性を受けて、戦後の初等・中等教育で種子植物、コケ植物などとともに扱われてきた。初等・中等教育段階においてシダ植物が扱われていた内容は、生殖方法や生活環に関する内容が中心であった。そのため、教材研究は生殖や生活環に関する教材開発が中心に行われた。そこで、前述の教育内容の系統化にあわせた新たな教材化が必要であると考えられる。

第二節 シダ植物の教材としての先行研究

前節のような変遷の中で、理科の学習指導要領や教科書に関して歴史的な検討を行った研究には、板倉ほか (1987a,b) が小学校低学年理科、生物、地学、物理、化学の各分野ごとに教材の変遷を取り扱ったものや、永田 (1994) が、物質認識・力学・化学・生物・郷土の自然・地学・ものづくりの各分野の初歩教材研究がある。生物教材としては、川上 (1989) が「花のつくり」、丸本 (1990) が「アサガオ」、安東 (1991,1993) が「昆虫」及び「花」の扱いの変遷を研究しているが、その数は少ない。また、これらの報告は小学校のみを扱っており、中学校および高等学校との関連性は扱われていない。また、シダ植物についての教科書研究は、渡邊 (1998) が行っているが、戦後を1つの時代としてまとめて扱っており、また、小学校に関する扱いがないため、学習指導要領ごとの変遷や初等教育段階と中等教育段階の関連性は扱っていない。

また、明治から戦前にかけて教科書においてシダ植物が扱われた観察・実験は、渡邊 (1998) によると、分類や生殖で扱われ、その内容は形態的特徴の観察や前葉体の培養に限られていたとされており、シダ植物の形態観察や前葉体の培養法は戦前に確立されていたことが分かる。

生物教材に関する報告が多く掲載されている雑誌の「遺伝」(1949～)、「生物教育」(1958～)、「採集と飼育」(1949～) などについて、シダ植物を扱った報告を検索したが、1960年まではほとんど見あたらず、1960年代になって報告が見られるようになった。

百瀬 (1965) や清水 (1975) は、植木鉢やミズゴケを培地にして、簡易的な用具で前葉体を培養する方法を開発した。湯浅 (1966,1982) や毛利 (1967) は、造精器や精子の雄性生殖細胞や器官の観察方法を開発し、他にも、シダ植物の染色体の観察方法の開発を行っ

た。加藤 (1987) は、ミズワラビの生活環が2ヶ月程度で終了することに着目し、培養法、観察法などの有効性について検討した。その上で、ミズワラビの教材としての有用性を紹介した。高宮 (1988) は、同形孢子シダのなかで最も染色体数の少ないゼンマイ ($2n = 44$) の細胞分裂の観察法を開発した。渡邊ら (1992) は、動的な現象に着目し、シダ植物の造精器から造卵器までの精子の動きを中心とした動画教材を開発した。

以上のように、シダ植物の教材開発は、生活環の中でも孢子から前葉体の形成、受精の直前までの過程が中心に行われていた。また、教材開発の他にも、前田らが、シダ植物の組織培養の研究 (1990) や無孢子生殖の研究 (1995) を、Treyes ら (2001) は、造精器の成熟期間に関する研究、川上ら (2004) は、シロヤマゼンマイの体細胞分裂と減数分裂の観察方法の開発など、同じ生活環でも教科書ではあまり扱われていない研究も行われるようになった。

このように、シダ植物の教材化は、1970年代までは新しい教材開発よりも、それまでに開発されていた研究方法を学校教育現場でも実施可能なように、簡易的に行うための研究が多く行われ、1980年代に入ってから新しい観点での教材開発の研究が行われるようになった。今後もこのような観点での新しい教材開発が必要である。

第三節 シダ植物の有性生殖に関する先行研究

生物の個体が自己と同じ種類の新しい個体を生産することを生殖と呼び、有性生殖と無性生殖に大別される。シダ植物は孢子体と配偶体が独立して存在しているため、この二つの生殖方法が顕著であり、古くから研究が行われている。

シダ植物の有性生殖に関する研究は、1824年に Nees von Esenbeck がイノモトソウの精子を発見したことが最初とされ、その後しばらくは、1849・1851年の Thuret、1864年の Pringsheim などによる精子の簡単なスケッチが、その後も1885年の Belajeff、1886年の Treub による精子の形態観察と、19世紀は精子の研究が主に行われた。19世紀後半になって、形態観察以外にも行われるようになり、1883年と1884年に Preffer が精子の走化性についての研究を行い、1887年に Campbell が精子の形成過程の観察を行っている (湯浅, 1969)。一方で、卵細胞に関する研究は受精と並行して行われた。受精に関する研究は、精子が卵細胞へ侵入する場所と考えられる受精点の観察から始まり (Strasburger, 1869)、コウヤワラビ (Shaw, 1898)、ケホシダ (Yamanouchi, 1908)、ヒメワラビ (Yuasa, 1937)、ワラビ (Bell, 1975) など、いろいろなシダ植物を材料に、1世紀以上にわたって受精の過程の連続観察が行われてきている。これらの観察は、卵細胞が前葉体内部にあるため、固定試料による観察であった。

最近では、Duckett & Bell (1971,1972) による電子顕微鏡を使用した精子の観察や、Bell (1975) による受精時における精子と卵細胞の形態観察、Tourte (1975) による微細構造の観察など、微細構造の形態観察が行われるようになった。しかし、これらの受精に関する形態観察は、固定した試料を使用していたため、断片的な観察しか行われていなかった。

近年、酵素処理を用いた胚嚢の単離方法が開発され、Zhou et al. (1982,1985)、Zhou (1985,1987)、Wagner et al. (1989a,b)、Huang et al. (1989) などが被子植物を材料として、

無傷で生理活性を保ったままの胚嚢が単離できるようになった。その結果、生理活性を保った胚嚢の形態観察が可能となり、蛍光プローブを利用した生殖細胞の微細構造の観察などが行われるようになった。また、電気融合における人工受精の方法が開発された。しかし、人為的な刺激で行っているために正確な受精現象ではない可能性があるうえ、種子植物では応用が困難であるという欠点がある。以上のように、植物における有性生殖の研究は、生理活性を保った状態では、まだ未開発であるといえる。

上記のような手法が開発され、プロトプラスト化したシダ植物を材料として扱った研究としては、Partanen et al. (1980) が若い孢子体のプロトプラスト化した細胞の培養を行い、この方法を応用して、Watanabe (1995) が生理活性を保ったまま卵細胞を単離するに至っている。

第四節 研究目的

シダ植物は、花が咲かない植物で孢子体世代と配偶体世代がそれぞれ独立して存在し、種子植物とは異なる特徴があり、植物が水中から陸上へと生息地を移行する進化上の植物とされて系統進化的に重要な位置にある。さらに、森林の下層植物の中心的な植物であることなど、植物の世界を理解するためには重要な位置を占めている。また、観察・実験面でも、日本全国で見られ、材料を確保しやすく、孢子の保存・培養が容易であり、無性世代（孢子体）と有性世代（配偶体）の形態がはっきりし、生活史のほぼすべての段階が観察可能であるなど、教材的に適した特性を多く持つ植物である。また、シダ植物は古くから日本の文化に深く関係し、その利用法としては、食料・薬・鑑賞・装飾などが挙げられる。食料ではワラビ、ゼンマイが代表的で、薬としては現在では利用が減少したものの、ヒカゲノカズラやスギナが利用されていた。最近では、鑑賞用としての扱いが多くなり、園芸店でよく売られている。

一方で生殖は、生物が種を残していくためには必要不可欠な生命活動である。また、遺伝・進化などの分野と関連性を持ち、生命を連続してとらえるためにも重要な役割を持っている。そのため、生物学者が興味・関心を引く分野となり、また、中等教育段階の生物教育においても重要な項目となっている。中等教育課程における植物の有性生殖では、被子植物が材料として取り上げられてはいるものの、生きた状態による受精の仕組みや過程の観察が困難なために模式図による例示がほとんどで、観察・実験内容も花粉の発芽に限られている。したがって、現状では植物の受精の過程を連続的にとらえる教材はほとんどないことになる。

しかし、シダ植物の有性生殖に関しては、被子植物と同様に雌性生殖細胞の卵細胞は他の細胞で包まれてはいるが、表層近くにあるため、被子植物よりも簡単な操作で卵細胞を観察することができる。

以上の理由から、本研究ではシダ植物に注目した。しかし、シダ植物は生物学的にも生物教材的にも重要な位置にあり、また、日本の生活に深く関わる植物でありながらも、現行の教科書では実際に教材として使用される割合が少ない。

そこで第一部では、平成 10・11 年の学習指導要領の改定で大幅に削除された「シダ植

物」に注目し、戦後の日本における教科書における扱い、観察・実験への利用方法を整理し、学習指導要領と教科書で内容がどのように変遷したかを明らかにした。また、その結果をもとに、生活との関わりなどからシダ植物の教材としての扱い方を検討した。過去の学習指導要領や教科書を分析することで、重要な内容や項目に対するシダ植物の必要性が明らかになるものと考えられる。本研究では、歴史的変遷と各学校段階の比較を行っているため、初等および中等教育全体におけるシダ植物の位置付けと系統化が可能である。特に、昭和 40 年代の系統化されて多くの教育内容を含んでいた時代と比較すると、平成元年および平成 10・11 年では昭和 40 年代の系統化された内容の中から部分的に削除されたとする見方ができ、残された教材間の系統性が弱くなった可能性が高い。これを本研究の作業仮説として設定し、カリキュラム編成の問題点として検証する。

第二部では、シダ植物の教材性についての特性を調べるために、シダ植物の有性生殖に関する基礎的な研究を行い、生きた状態における生殖細胞の細胞学的特徴を解析した。さらに、連続的な受精の観察や試験管内受精を行い、受精の仕組みを明らかにする方法の検討を行った。また、体細胞分裂と減数分裂の観察も行い、生活環のつながりを明確にすることで、新しい教材を開発した。

第五節 研究の視点と方法

本研究の視点と方法は、Fig.2 のようにまとめられる。まず、生物教育におけるシダ植物の位置づけを論じ（第一部）、次いで、シダ植物の生殖に関する自然科学的な内容の研究と、生殖に関する教材開発を行った（第二部）。

第一部ではシダ植物の教材としての有効性を検討するために、戦後の学習指導要領と教科書におけるシダ植物の教材としての取り扱いの変遷を明らかにした（第一章）。さらに、新しい教材開発の可能性として、生活との関連性を考察した（第二章）。

第二部ではシダ植物の自然科学的な内容を教材化するために、有性生殖細胞に関する細胞学的な研究（第一章）、受精のメカニズムの解明（第二章）、体細胞分裂と減数分裂の教材開発（第三章）を行った。

総合考察では、第一部と第二部を考慮した上でシダ植物の教材性と教材開発の方法を検討し、新しい教材の示唆や教材開発についての方法について総合的に考察した。

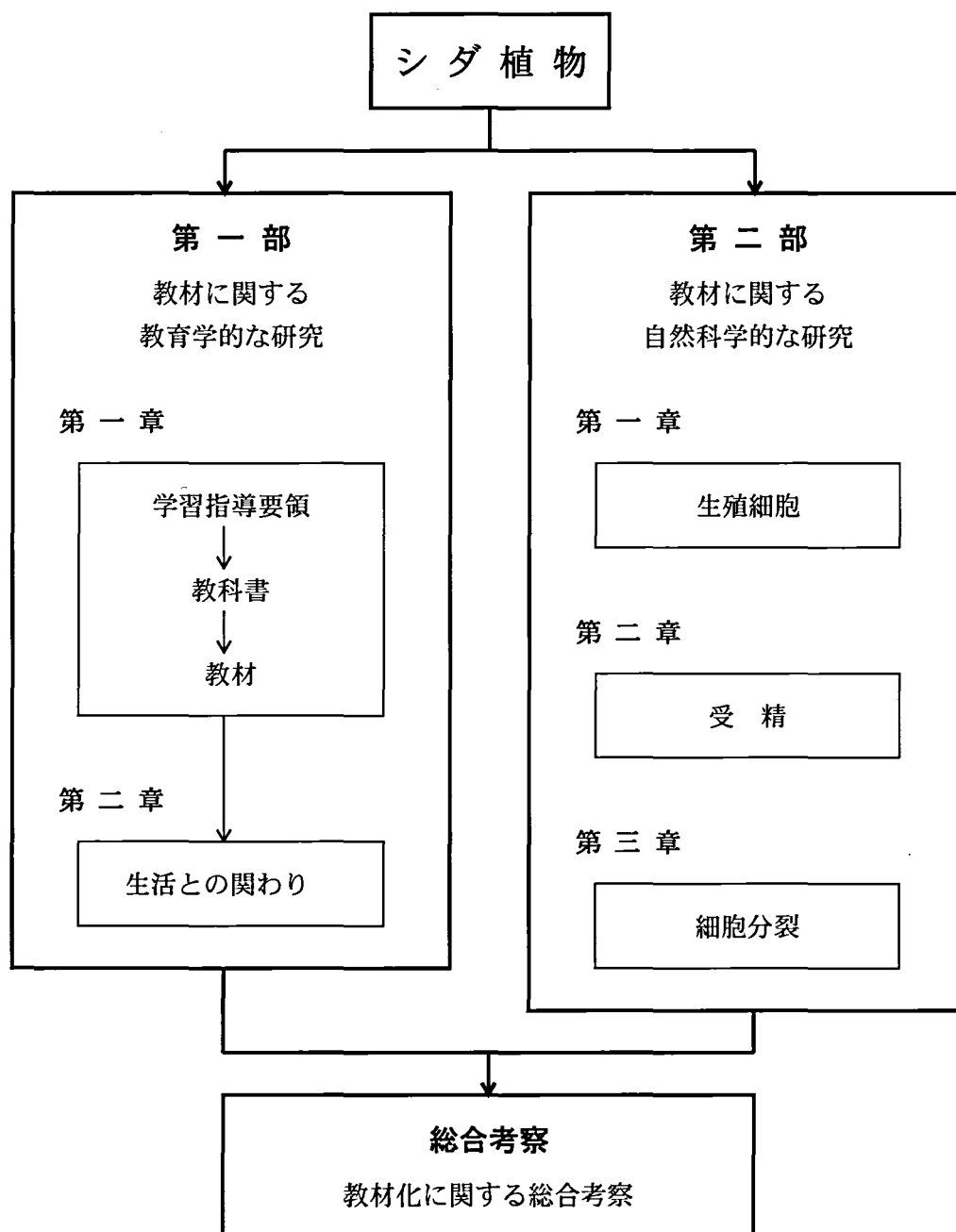


Fig.2 研究の視点と方法の模式図

参考文献

- 安東久幸 (1991) 中学校における昆虫教材の変遷. 理科の教育 40 (6): 16-19.
- 安東久幸 (1993) 「花」の教材における価値の変遷. 理科の教育 42 (8): 64-69.
- 板倉聖宣編 (1987) 理科教育史資料 第4巻 理科教材史Ⅰ. 東京法令出版
- 板倉聖宣編 (1987) 理科教育史資料 第4巻 理科教材史Ⅱ. 東京法令出版
- 岩槻邦男編 (1992) 日本の野生植物. 平凡社
- 加藤富士夫 (1987) ミズワラビの前葉体. 遺伝 41 (9): 72.
- 川上昭吾 (1989) 理科教科書「花のつくり」の学習における多様性認識取扱い方に関する歴史的な研究. 愛知教育大学教科教育センター研究報告 13: 157-166.
- 川上敏行・池田秀雄 (2004) シロヤマゼンマイの培養系の確立とその教材としての有効性の検討. 生物教育 44 (2): 68-76.
- 清水巖 (1975) 前葉体の栽培. 教材生物ニュース 1: 14-16.
- 高宮正之 (1988) ゼンマイを用いた核相交代の観察. 遺伝 42 (3): 19-24.
- 永田英治 (1994) 日本理科教材史. 東京法令出版
- 前田柝夫・中村三千代 (1990) シダ類の組織培養－形態形成実験系としての利用－. 遺伝 44 (2): 43-47.
- 前田柝夫・小西美保・中村三千代 (1995) シダ植物の無孢子生殖. 遺伝 49 (8): 17-21.
- 丸本喜一 (1990) 教材の変遷－アサガオを例にして－. 初等理科教育 24 (14): 40-43.
- 毛利秀雄 (1967) 精子の機能－その運動を中心として－. 遺伝 21 (3): 23-27.
- 百瀬静男 (1965) シダの前葉体の培養法. 遺伝 19 (11): 59-62.
- 湯浅明 (1966) シダの発生. 遺伝 20 (9): 46-48.
- 湯浅明 (1969) 植物の精子. 東京大学出版社
- 湯浅明 (1982) シダ類精子の観察法Ⅰ. 教材生物ニュース 82: 96-97.
- 渡邊重義・Treyes R. S.・池田秀雄 (1998) シダ植物の有性生殖の教材化Ⅱ－連続した受精現象の観察とビデオ教材化－. 生物教育 38 (3・4): 131-138.
- 渡邊重義・福田香織・池田秀雄 (1992) シダの有性生殖に関する研究. 生物教育 32 (1): 100-101.
- Bell, P. R. (1975) Observation on the male Nucleus during fertilization in the fern *Pteridium aquilinum*, Journal of Cell Science 17: 141-153.
- Duckett, J. G. and Bell, P. R. (1971) Studies on Fertilization in archegoniate plants I. Changes in the structure of the spermatozoids of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn during entry into the archegonium, Cytobiologie 4 (3): 421-436.
- Duckett, J. G. and Bell, P. R. (1972) Studies on Fertilization in archegoniate plants II. Egg penetration in *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, Cytobiologie 6 (1): 35-50.
- Huang, B.-Q. and Russell, S. D. (1989) Isolated of Fixed and Viable Eggs, Central Cells, and Embryo Sacs from Ovules of *Plumbago zeylanica*, Plant Physiol 90: 9-12.
- Partanen, C. R., Power, J. B. and Cocking, E. C. (1980) Isolation and Division of Protoplasts of *Pteridium aquilinum*, Plant Science Letter 17: 333-338.
- Shaw, W. R. (1898) The Fertilization of *Onoclea*, Annals of Botany 12: 261-285.

- Strasburger, E. (1869) Die Befruchtung bei den Farnkrautern, Jahrbuch für Wissenschaftliche Botanik 7: 390-408.
- Tourte, Y. (1975) Etude infrastructurale de l'oogenèse chez une Pteridophyte, I. Evolution des structures nucléaires, Journal de Microscopie Biologique Cell 22: 87-108
- Treyes, R. S., Kawakami, T. and Ikeda, H. (2001) Antheridial Development from the Isolated Protoplast of Young Gametophyte of Tree Fern *Cyathea contaminans* (HOOK) Copel.: A Scientific Approach to Teaching about Spermatogenesis, International Online Journal of Science and Mathematics Education 2 (1) : <http://www.dilnet.upd.edu.ph/~ismed/online/articles/anthe/anthe.htm>
- Wagner, V. T., Song, Y. C., Matthys-Rochon, E. and Dumas, C. (1989) Observations on the isolated embryo sac of *Zea mays* L., Plant Science 59: 127-132.
- Wagner, V. T., Kardolus, J. P. and Van Went, J. L. (1989) Isolation of the lily embryosac, Sexual Plant Reproduction 2: 219-224.
- Watanabe, S. and Ikeda, H. (1995) Cytological Features of the Egg Cell Protoplasts Isolated from Gametophytes of Fern *Struthiopteris niponica* (Kunze) Nakai, Plant Tissue Culture Letters 12 (2) : 117-123.
- Yamanouchi, S. (1908) Spermatogenesis Oogenesis and Fertilization in *Nuphrodium*, Botanical Gazette 45 (3) : 145-175.
- Yuasa, A. (1937) Studies in the cytology of Pteridophyta XIV. Spermatoteleosis and fertilization in some ferns, with special reference to border-brim, Japanese Journal of Botany 5: 17-35.
- Zhou, C. and Yang, H. Y. (1982) Enzymatic isolation of embryo sacs in angiosperms: isolation and microscopical observation on fixed materials, Acta Botanica Sinica 24: 403-407.
- Zhou, C. (1985) Isolation and identification of viable embryo sacs in several angiosperm species, Acta Botanica Sinica 27: 258-262.
- Zhou, C. and Yang, H. Y. (1985) Observations on enzymatically isolated, living and fixed embryo sacs in several angiosperm species, Planta 165: 225-231.
- Zhou, C. (1987) A study of fertilization events in living embryo sacs isolated from sunflower ovules, Plant Science 52: 147-151.

第 一 部

学習指導要領および教科書における シダ植物の扱い

第 一 章

戦後の学習指導要領と教科書における
シダ植物の教材としての取り扱いの変遷

第一節 調査方法

学習指導要領については、小学校は昭和 22、27 年の試案、昭和 33、43、52 年、平成元年、10 年の改訂版、中学校は昭和 22、26 年の試案、昭和 33、44、52 年、平成元年、10 年の改訂版、高等学校は昭和 23、26 年の試案、昭和 31、35、45、53 年、平成元年、11 年の改訂版のそれぞれについて分析した。教科書については、学習指導要領に準じて作成されたもので、小学校では、昭和 22 年から平成 10 年までの「理科」と、平成元年および平成 10 年の「生活科」について分析した。中学校では、昭和 22、26 年の「理科」と昭和 33 年から平成 10 年までの「理科 2 分野」について分析した。高等学校では、昭和 23 年から 35 年までの「生物」、昭和 45 年の「生物Ⅰ」「生物Ⅱ」、昭和 53 年の「理科Ⅰ」「生物」、平成元年の「生物Ⅰ B」「生物Ⅱ」、平成 11 年の「理科総合 B」「生物Ⅰ」「生物Ⅱ」について調査した (Table1)。小・中学校の教科書については、昭和 33 年以降に出版されたものはほぼすべてを調査したことになる。高等学校の教科書については、昭和 35 年以降に出版された教科書の約 2/3 について調査したことになる。

Table1 各学校種の学習指導要領の改訂と調査した教科書数

小学校			中学校			高等学校		
S22 (1947)	理科	【3】	S22 (1947)	理科	【3】	S23 (1948)	生物	【2】
S27 (1952)	理科	【6】	S26 (1951)	理科	【10】	S26 (1951)	生物	【10】
S33 (1958)	理科	【7】	S33 (1958)	2 分野	【7】	S31 (1956)	生物	【4】
						S35 (1960)	生物	【12】
S43 (1968)	理科	【6】	S44 (1969)	2 分野	【5】	S45 (1970)	生物Ⅰ	【8】
							生物Ⅱ	【7】
S52 (1977)	理科	【6】	S52 (1977)	2 分野	【5】	S53 (1978)	理科Ⅰ	【35】
							生物	【11】
H1 (1989)	理科	【6】	H1 (1989)	2 分野	【5】	H1 (1989)	生物Ⅰ B	【12】
	生活科	【9】					生物Ⅱ	【8】
H10 (1999)	理科	【6】	H10 (1999)	2 分野	【5】	H11 (2000)	生物Ⅰ	【8】
	生活科	【9】					生物Ⅱ	【8】
							理科総合 B	【8】

S は昭和、H は平成を示し、それぞれは学習指導要領の改訂年を示す
【 】内は調査した教科書の数を示す

第二節 各学校段階における変遷

(1) 小学校における取扱いの変遷

小学校の理科学習指導要領は、昭和 22 年では指導する単元とその内容、27 年では指導目標、33 年は内容、それ以降は内容と内容の取扱いが記載された。そのため、具体的に扱う教材に関しての記載が少なく、一貫して「シダ植物」という言葉は記載されていなかった。しかし、各時期の指導要領の下で著された教科書においてはシダ植物が扱われていたものもいくつか存在した。そこで、教科書で「シダ植物」が記載されていた項目を調査し、それに対応する学習指導要領の項目で分類した。

教科書で「シダ植物」が扱われていた学習指導要領の項目には、それぞれの季節の植物を観察する項目（以下「季節の植物を調べる」と記す）、生物の進化の過程を学習する項目（以下「生物が変化してきた様子」と記す）、森林の内部構造を学習する項目（以下「森林のつくり」と記す）の 3 項目があった。その結果、シダ植物に関連した目標・内容の変遷と教科書におけるシダ植物の扱いおよび各項目における観察・実験・活動は、Table2 のようになった。

「季節の植物を調べる」は、季節ごとにおける野山あるいは校内における植物の観察であり、主に小学校の低学年から中学年にかけて扱われている。また、この項目は昭和 22 年の試案から現行のものまで、すべての学習指導要領で取り扱われている。

この項目におけるシダ植物の扱いは、昭和 22 年の試案のものから昭和 33 年のものまでは、調査したすべての教科書で扱われていた。しかし、シダ植物を扱う教科書は、昭和 43 年で 6 社中 3 社と半分、昭和 52 年で 6 社中 2 社と 3 分の 1、平成元年と 10 年では皆無と、昭和 43 年以降は指導要領の改訂ごとに教科書におけるシダ植物の扱いは減少していった。この項目では、昭和 33 年までは野山における観察が中心となっていたのが、それ以降、校内における観察へと、場所が変更された。これに伴い、校内よりも野外に多く見られるシダ植物の扱いが減少したと考えられる。また、観察対象が種子植物に絞られたことも影響したと考えられる。この項目で扱われていたシダ植物の内容は、春の植物としてのツクシ（スギナ）やゼンマイなどを絵や写真で紹介するのがほとんどであり、シダ植物についての具体的な説明が記載されている教科書はなかった。また、シダ植物を扱った活動は、スギナの継ぎ目あてやウラボシの飾りなど、遊びや行事といった生活に関連したものであった。しかし、これらの活動を扱う教科書は、多いときで昭和 22 年の試案の 3 社中 2 社であり、その他では多くても昭和 27 年の試案における 6 社中 2 社であった。

「生物が変化してきた様子」では、地球の歴史と共に生物の進化の過程を扱っていた。この項目は昭和 22 年と 27 年の試案でのみ扱われ、主に 6 年生で扱われることになっていた。しかし、昭和 33 年の学習指導要領からは削除され、現行のものまで扱われていない。

この項目におけるシダ植物は、昭和 22 年の試案のものではすべての教科書が、昭和 27 年の試案のものでも 6 社中 5 社が扱っていた。扱われていた内容も、植物進化の変遷の過程における古生代の木生シダと統一されており、植物が水中から地上へと進化した過程において、重要な植物の 1 つとして扱われていた。これらの木生シダは現在生存していない植物であるため、シダを利用した活動は扱われていなかった。昭和 33 年以降は学習指導

Table2 小学校学習指導要領におけるシダ植物におけるシダ植物に関する目標・内容の変遷と教科書におけるシダ植物の扱い

項目	季節の植物を調べる	シダ植物を扱った教科書数	生物が変化してきた様子	シダ植物を扱った教科書数	森林のつくり	シダ植物を扱った教科書数
S22	<ul style="list-style-type: none"> 植物にはいろいろな種類がある。(1年) いろいろな種類の植物がある。(2年) 植物は区別のできる特徴を持っている。(3年) 植物は区別のできる特徴を持っている。(3年) 	【3/3】	<ul style="list-style-type: none"> すべての生物は環境に応じて、適応し調節して生きていくが、それにはある限度がある。(4～9年) 	【3/3】		
S27	<ul style="list-style-type: none"> 自然界に起るおもしろい現象に興味をもち、自然に親しむ。(1年) 動物や植物が成長したり、暮し方が変わったりすることに関心をもつ。(2年) 季節によって、生物の成長や暮し方が変わることがわかる。(3年) 季節や地域によって、それぞれの特徴のある生物が見られたり、状態が変わったりすることがわかる。(4年) 	【6/6】	<ul style="list-style-type: none"> 生物が変化してきた様子に興味をもつ。(6年) 	【5/6】	<ul style="list-style-type: none"> 動物や植物の生命を保つはたはたきや環境に対する適応を理解し、自然の微妙な調和を知る。(6年) 	【1/6】
S33	<ul style="list-style-type: none"> 野山の自然の有様を観察する。(1年) 四季おりおり野山のありさまを観察する。(2年) 季節による生物の種類や様子の変化を調べる。(3年) 	【7/7】			<ul style="list-style-type: none"> 森林の生物について相互関係を調べ、森林の保護に関心を持つ。(6年) 	【7/7】 (3/7)
S43	<ul style="list-style-type: none"> 草木の育ち方と日当たりや暖かさとの関係や種により異なることを理解させる。(2年) 植物の成長は暖かさや寒さと関係があることや、成長には水や養分が必要であることを理解させる。(3年) 	【3/6】			<ul style="list-style-type: none"> 植物のからだのつくりやはたはたきと、これらに関連する植物相互の関係を理解させる。(6年) 	【4/6】 (5/6)
S52	<ul style="list-style-type: none"> いろいろな植物を探したり、葉、花、実などを使った活動を通して気付けさせながら、それらの色、形、汁などの特徴に気付けさせる。(1年) 植物の成長の様子を調べ、成長の様子がよって違いがあることを理解させる。(3年) 	【2/6】			<ul style="list-style-type: none"> 植物が繁茂しているところの様子を調べ、植物は互いに影響を与えながら成長していることを理解させる。(6年) 	【3/6】 (4/6)
H1	<ul style="list-style-type: none"> 身近な植物を探したり育てたりして、成長の過程や体のつくりを調べることができるようにする。(3年) 	【0/6】				※ (1/6)
H10	<ul style="list-style-type: none"> 身近な自然を観察したり、季節や地域の行事にかかわる活動を行ったりして、四季の変化や自分たちよって生活の様子が変わることに関心をもつ。(生活科) 	【2/9】				
	<ul style="list-style-type: none"> 内容の取扱い 夏生一年生の双子葉植物のみを扱うこと(3年) 夏生一年植物のみを扱うこと(4年) 	【0/6】				
	<ul style="list-style-type: none"> 身近な自然を観察したり、季節や地域の行事にかかわる活動を行ったりして、四季の変化や自分たちよって生活の様子が変わることに関心をもつ。(生活科) 	【6/9】				

【シダ植物が記載されている教科書数/調査した教科書数】

要領からの扱いがなくなったため、教科書でも扱われていなかった。

「森林のつくり」は、森林の生育してる環境とその様子についてであり、木本や森林の下草としての特徴が扱われていた。この項目は、昭和 27 年の試案から昭和 52 年まで扱われていた。また、活動としても、昭和 27 年の試案にはなかったものの、昭和 33 年では 7 社中 3 社、昭和 43 年では 6 社中 5 社、昭和 52 年では 6 社中 4 社と、半数以上の教科書で林の中の植物の観察が扱われていた。

この項目におけるシダ植物の扱いは森林の下草としての扱いであり、日の当たりにくい場所で生育する植物という特性が扱われていた。これらは主に活動で扱われ、昭和 33 年では 7 社中 7 社、昭和 43 年では 6 社中 4 社、昭和 53 年では 6 社中 3 社と、半数以上の教科書がシダ植物を扱っていた。また、扱われたシダ植物も、ワラビ・ノキシノブ・ウラボシなど、十数種類にのぼった。平成元年において、1 社が葉のデンプンを調べる課題研究でシダ植物を扱っていたが、平成 10 年では扱っている教科書は見られなかった。

以上の小学校理科学習指導要領と教科書におけるシダ植物の扱いについて、次の変遷とその要因が考察される。

① 観察場所の変化

都市化に伴って、野外観察の機会が減少した。観察場所が野外から学校内となるに従ってシダ植物が扱われる頻度が減ったものと考えられる。

② 進化概念の削除

小学校理科における進化概念の削除（昭和 33 年）に伴って、シダ植物の系統的扱いがなくなった。

③ 生態的概念の削除

平成元年の学習指導要領の改訂以降、「森林のつくり」という生態的概念の削除によって、シダ植物が扱われなくなった。また、この時期以降は学習指導要領で種子植物を中心に扱うこととされた影響で、シダ植物は小学校の理科教科書から完全に消失した。

(2) 小学校生活科における取扱い

平成元年から小学校の 1・2 年で行われるようになった生活科では、平成元年では 9 社中 2 社、平成 10 年では 9 社中 6 社がシダ植物を扱っていた (Table2)。これらの内容は、シダ植物について具体的な記載はなかったものの、平成元年では春の植物としてのツクシが写真でのみ扱われていた。しかし、平成 10 年では、スギナの継ぎ目あてや、ツクシを食べるといった生活に関連した内容も加えられ、扱う教科書も増加していた。これらは、以前の理科「季節の植物を調べる」における教材の扱いが影響しているものと考えられ、さらに生活の視点が加えられたものと考えられる。

(3) 中学校における取扱いの変遷

中学校の学習指導要領は、昭和 22 年では「指導内容」、昭和 26 年では「目標」、昭和 33 年は「内容」と「指導上の留意事項」、昭和 44 年以降は「内容」と「内容の取扱い」が示

された。シダ植物に関連する内容および取扱いには、昭和 33 年の「胞子でふえる植物」、昭和 44、52 年の「生物の種類とその生活」、平成元年の「花の咲かない植物」があった。平成元年では「シダ植物、コケ植物など、代表的な仲間 2～3 を取り上げ、その外形と胞子の観察を行うこととし、個々の植物の生活史などについては深入りしない」とされた。これらの項目以外で教科書に「シダ植物」が記載されていたものには、「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」「生殖」「分布」の項目があった。以上の項目に関してシダ植物を取り扱っていた教科書の種類と内容の系統は Table3 のようになった。

昭和 22 年では、「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」「生殖」においてシダ植物が扱われていた。「身のまわりの植物」では、身のまわりの日の当たらない環境下に生育する植物の代表として、シダ植物が扱われていた。「分類」では、分類した植物の形態的特徴を取り上げていたため、シダ植物の前葉体を含めた生活史や無性生殖がこの項目で扱われていた。「系統・進化」では、地球の変化の一部として、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダが扱われていた。「生殖」では、無性生殖の胞子生殖とスギナの地下茎が扱われていた。

昭和 26 年では、「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」「生殖」においてシダ植物が扱われていた。「身のまわりの植物」では、身のまわりの植物としてのシダ植物を紹介し、形態的特徴や「生殖」である無性生殖の胞子生殖と有性生殖が扱われていた。「分類」では、植物の分類表や分類法を取り上げていた。「系統・進化」では、地球の変化の一部として、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダが扱われていた。

昭和 33 年では、「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」「生殖」「分布」においてシダ植物が扱われていた。「身のまわりの植物」は、「分類」と同時に扱われるようになったため、身のまわりの植物を分類し、それぞれの形態的特徴や殖え方を扱っていた。「系統・進化」も「分類」と同時に扱われ、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダの他に、系統的な分類表が取り上げられた。「生殖」は、無性生殖の胞子生殖のみが扱われていた。「分布」では、日本の水平分布で森林部にワラビが生育することが扱われていた。

昭和 44 年では、「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」においてシダ植物が扱われていた。「身のまわりの植物」と「分類」は同時に扱われ、身のまわりの植物を分類し、それぞれの形態的特徴や殖え方を扱っていた。「系統・進化」も「分類」と同時に扱われ、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダの他に、系統的な分類表が取り上げられた。

昭和 52 年では、「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」においてシダ植物が扱われていた。「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」はすべて同じ 1 つの項目で扱われ、身のまわりの植物の分類、それぞれの形態的特徴や殖え方、生育場所による進化の過程がまとめられていた。

平成元年では、「身のまわりの植物」「分類」「系統・進化」においてシダ植物が扱われていた。「身のまわりの植物」と「分類」は同時に扱われ、身のまわりの植物を分類し、それぞれの形態的特徴や殖え方を扱っていた。しかし、学習指導要領の生活環を扱わないという内容を受け、指導書では前葉体を扱わないとされていたため、胞子体と胞子の扱いのみになっていた。「系統・進化」では、生育場所による進化の過程が扱われていた。

平成 10 年では、学習指導要領の内容を受け、シダ植物を扱う教科書は 5 社中 1 社であり、その扱いも「シダ植物」という語句さえも扱っておらず、種子をつけない植物の代表

Table3 中学校の教科書におけるシダ植物の扱われた内容・項目の変遷と教科書におけるシダ植物の扱い

S22	<p>草や木はどのようにして生きているか</p> <p>すべての生物は環境に応じて、適応し調節して生きているが、それにはある限度がある。</p> <p>身のまわりの植物 【2/3】</p> <p>生物の大きさ・構造、生活のありさまにはいろいろある。</p> <p>花の咲かない植物</p> <p>形態・殖え方など 【3/3】</p>	<p>地下の資源をどのように利用しているか</p> <p>今の陸と海ができるまでには長い時がたっている。</p> <p>進化 (古生代の木生シダ) 【3/3】</p>	<p>草や木はどのようにして生きているか</p> <p>種族と個体を永く続かせることは、どの生物にも見られる二つの大切な機能である。</p> <p>スギナの地下茎 【1/3】</p> <p>胞子生殖 【2/3】</p>	<p>生物はどのように生きているか</p> <p>生物はどこで、どのように生育するか</p> <p>野山にはどんな生物が見られるか</p> <p>胞子生殖 【4/10】</p> <p>受精 【4/10】</p>
S26	<p>生物はどこで、どのように生育するか</p> <p>野山にはどんな生物が見られるか</p> <p>形態・殖え方など 【7/10】</p> <p>胞子でふえる植物 【8/10】</p>	<p>地下はどのようになっているか。また、そこからどのような資源が得られるか</p> <p>地表のすがたはどのようなように移り変わってきたか</p> <p>進化 (古生代の木生シダ) 【10/10】</p>	<p>生物はどのようになっているか。また、野山にはどんな生物が見られるか</p> <p>胞子生殖 【4/7】</p> <p>無性生殖</p>	<p>生物はどこで、どのように生育するか</p> <p>野山にはどんな生物が見られるか</p> <p>胞子生殖 【4/10】</p> <p>受精 【4/10】</p>
S33	<p>生物にはいろいろ種類があり、それぞれ形態上の特徴をもっているが、すべてそのからでは細胞からできていることについて指導する。</p> <p>胞子でふえる植物</p> <p>形態・殖え方など (前葉体は扱わない) 【7/7】</p>	<p>化石や地質構造からわかった地質時代の変遷、生物進化の事実とその説明および生物の系統と自然分類について指導する。</p> <p>生物の進化</p> <p>分類系統進化 (古生代の木生シダ) 【6/7】</p> <p>【5/7】</p> <p>【6/7】</p>	<p>生物のいろいろなるふえ方および遺伝のしくみとその利用について指導する。</p> <p>胞子生殖 【4/7】</p> <p>無性生殖</p>	<p>生物は、環境の影響を受け、環境に適応し、また、相互にしながら生きていく。</p> <p>生物は、環境の影響を受け、環境に適応し、また、相互にしながら生きていく。</p> <p>生物は、環境の影響を受け、環境に適応し、また、相互にしながら生きていく。</p> <p>生物は、環境の影響を受け、環境に適応し、また、相互にしながら生きていく。</p>
S44	<p>生物の種類とその生活</p> <p>形態・殖え方など 【5/5】</p>	<p>生物の種類と生活</p> <p>生物の種類とその系統</p> <p>分類系統 (古生代の木生シダ) 【4/5】</p> <p>【5/5】</p>	<p>生物と細胞</p> <p>シダ植物はなし</p>	<p>生物と環境</p> <p>シダ植物はなし</p>
S52	<p>生物の種類と生活</p> <p>植物の種類とつくり</p> <p>形態・殖え方など 【5/5】</p>	<p>生物の種類と生活</p> <p>植物の種類とつくり</p> <p>形態・殖え方など 【5/5】</p>	<p>生物の体のしくみ</p> <p>シダ植物はなし</p>	<p>生物どうしのつながり</p> <p>シダ植物はなし</p>
H1	<p>植物の生活と種類</p> <p>植物の仲間</p> <p>植物の仲間 (前葉体は扱わない) 【5/5】</p>	<p>生物のつながり</p> <p>生物界のつながり</p> <p>系統進化 【5/5】</p>	<p>生物の殖え方と遺伝</p> <p>シダ植物はなし</p>	<p>生物の殖え方と遺伝</p> <p>シダ植物はなし</p>
H10	<p>植物の生活と種類</p> <p>植物の仲間</p> <p>植物の仲間 【1/5】</p>	<p>生物の殖え方</p> <p>シダ植物はなし</p>	<p>生物の細胞と生殖</p> <p>生物の殖え方</p> <p>シダ植物はなし</p>	<p>生物の細胞と生殖</p> <p>生物の殖え方</p> <p>シダ植物はなし</p>

【シダ植物が記載されている教科書数/調査した教科書数】

例としてツクシを扱っていただけであった。

各項目ごとに分析してみると、中学校の理科の教科書においては、昭和 22 年以降、「身のまわりの植物」と「分類」の項目において、すべての教科書でシダ植物の形態的特徴や殖え方を扱い、孢子・前葉体・受精・孢子体（本体）などの図や写真などを示して生活史を扱っていた。平成元年の教科書においては、学習指導要領の指導書の「シダ植物、コケ植物など、代表的な仲間 2～3 を取り上げ、その外形と孢子の観察を行うこととし、個々の植物の生活史などについては深入りしない」という内容を受け、前葉体や生活史は扱われなくなった。

「系統・進化」も、ほぼすべての教科書で扱われていたが、その内容は、昭和 33 年までは地学分野で古代生物の木生シダを、それ以降は形態的特徴から進化の過程を扱っていた。

「生殖」においても、ほぼすべての教科書で扱われていたが、昭和 44 年以降、シダ植物は代表例としても扱われなくなった。その他の内容でシダ植物が扱われたのは、昭和 33 年の水平分布のみであった。

一方、これらの項目で扱われていた観察・実験は、孢子の観察を含む孢子体のからだのつくりの観察があり、シダ植物が扱われていた平成元年まで扱われていた。特に、昭和 33、52、平成元年ではすべての教科書で扱われていた。この観察・実験は「身のまわりの植物」で扱われ、他の植物との形態的な特徴の違いを調べることが主な目的となっていた。他にも、扱う教科書は少なくなるものの、生活史に関する孢子（前葉体）の培養が昭和 26、52 年で扱われ、生活史、特に孢子生殖に関する観察・実験が多く扱われていたことが分かる（Table4）。

以上の中学校理科学習指導要領と教科書におけるシダ植物の扱いと変遷については、戦後から昭和 52 年までは大きな変化が見られず、ほとんどの教科書において分類および進化に関連する内容があった。しかし、平成元年における学習指導要領で「前葉体は扱わない」という禁止によって前葉体が扱われなくなり、平成 10 年における学習指導要領の取扱いにおける「種子をつくらない植物については、その存在を指摘する程度にとどめること」を受けて、中学校理科教科書から消失した。

Table4 中学校の教科書で扱われたシダ植物に関する観察・実験

S22	・孢子の観察	【1 / 3】
S26	・校庭の植物の観察	【1 / 10】
	・植物のからだのつくり	【3 / 10】
	・孢子の観察	【3 / 10】
	・孢子の培養	【2 / 10】
S33	・植物のからだのつくり	【4 / 7】
	・孢子の観察	【7 / 7】
S44	・植物のからだのつくり	【5 / 5】
	・孢子の観察	【5 / 5】
	・孢子の培養	【2 / 5】
	・前葉体の観察	【1 / 5】
S52	・植物のからだのつくり	【5 / 5】
	・孢子の観察	【5 / 5】
H1	・植物のからだのつくり	【5 / 5】
	・孢子の観察	【5 / 5】
H10	・シダ植物はなし	【0 / 5】

Sは昭和、Hは平成
【シダを扱った教科書数 / 調査した教科書数】

(4) 高等学校における取扱いの変遷

高等学校の学習指導要領は、昭和 22 年では教材一覧、26 年では単元・学習の範囲・順序、31、35 年は内容、それ以降は内容と内容の取扱いが記載されたが、一貫して「シダ植物」という言葉は記載されていなかった。そこで、教科書で「シダ植物」が記載されていた項目を調査し、それに対応する学習指導要領の項目で分類した。

教科書で「シダ植物」が扱われていた学習指導要領の項目には、平成 11 年までは「構造」「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」の 5 項目があり、シダ植物を扱っていた教科書の種類と内容の系統は Table5 のようになった。

昭和 23 年では、「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」においてシダ植物が扱われていた。「分布」は、世界の気候分布、日本の垂直分布・植物群落の代表的な植物として、木生シダ・ワラビ・アカウキクサが紹介されていた。「生殖」は、無性生殖で孢子生殖とスギナの根茎が、有性生殖でシダ植物も精子を形成することが紹介されていた。「進化」は、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダが扱われていた。「分類・系統」は、系統樹を基に分類された植物の代表種が図鑑のように、形態を中心に説明されていた。ここでは、ほとんどの教科書がイヌワラビを代表種として扱っていた。

昭和 26 年では、「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」に加えて、「構造」でもシダ植物が扱われていた。「構造」においては、シダ植物が陰生植物であり、日の当たらない場所で生育していることを紹介していた。「分布」では、世界と日本の植物分布で、熱帯地区の代表的な植物として木生シダが紹介されていた。「生殖」では、無性生殖で孢子生殖とスギナの根茎が、有性生殖でシダ植物も精子を形成し、受精することまで紹介されていた。また、シダ植物を例とした世代交番が扱われるようになった。「進化」では、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダが扱われていた。「分類・系統」では、系統的に生物を分類するための特徴が形態学的に扱われていた。そのため、ヒカゲノカズラ類・トクサ類・シダ類の区別もされていた。

昭和 31 年では、「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」においてシダ植物が扱われていた。「分布」では、熱帯地区の代表的な植物として、木生シダが世界と日本の植物分布で紹介されていた。「生殖」では、無性生殖で孢子生殖とスギナの根茎が、有性生殖でシダ植物も精子を形成して受精すること、世代交代が扱われていた。「進化」では、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダが扱われていた。「分類・系統」では、系統的に生物を分類するための特徴が形態学的に扱われていた。

昭和 35 年では、「構造」「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」においてシダ植物が扱われていた。「構造」では、維管束構造としての仮道管が扱われていた。「分布」では、熱帯地区の代表的な植物として、木生シダが日本の植物分布で紹介されていた。また、森林の階層構造の草本層に陰生植物であるシダ植物が生育していることが扱われるようになった。「生殖」では、無性生殖では孢子生殖だけが、有性生殖ではシダ植物も精子を形成して受精すること、世代交代が扱われていた。「進化」では、系統進化が表にまとめられて扱われていた。「分類・系統」では、系統的に生物を分類するための特徴が形態学的に扱われていた。

昭和 45 年では、「構造」「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」においてシダ植物が扱

Table 5 高等アザミ目出芽要領におけるシダ植物における内容・項目の変遷と教科書におけるシダ植物の扱い

S23	機能 シダ植物はなし	生物の種類と分布 世界の植物分布 (旧熱帯の木生シダ) 【1/2】 植物の垂直分布 (山麓帯のワラビ) 【1/2】 植物群落 (浮性植物のアカウキウサ) 【1/2】	生殖		進化 古生代の木生シダ 【2/2】	生物の種類と分布 植物の種類 (系統) 【1/2】
			無性生殖 配子生殖 生殖細胞 (シダの精子) 受	【2/2】 【2/2】 【1/2】 【1/2】		
S26	緑色植物は、われわれが生きていくのにどんなにたいせつなはたらきをしているか 緑色植物は、どのようにして養分をつくり出すか シダは陸生植物	地球上にはどんな生物がすんでいるか 生物は地球上にどのようなように分布しているか 世界の植物分布 (旧熱帯の木生シダ) 【4/10】 日本の植物分布 (亜熱帯植物区の木生シダ) 【4/10】	生物の種類はどのようなように保たれているか 生物はどのようなようにしてふえるか 無性生殖 配子生殖 地下茎 世代交替 植物の受精 (シダの精子形成) 【4/10】	生物の体内や、いるいる異なる種類の間にはどのような統一と類似点が見られるか 現存種と化石との間にはどんな関係が見られるか 古生代の木生シダ 【8/10】	地球上にはどんな生物がすんでいるか 植物はどのように分類されるか 植物の種類 (系統) 【9/10】	
S31	植物の構造と機能 シダ植物はなし	生物の集団 環境への対応 世界の植物分布 (旧熱帯の木生シダ) 【2/3】 日本の植物分布 (旧熱帯植物区の木生シダ) 【4/4】	生殖細胞とそれのできかた 植物の受精 (2/4) 生殖の生殖法 (3/4) 無性生殖 配子生殖 地下茎 世代交代 (3/4)	生物の種類と進化 生物進化の証拠 (木生シダ) (3/4) 生物の種類と分類のしかた (4/4)		
S35	生物体の構成 個体のなりたち 維管束構造 (仮道管) 【2/12】	生態 生物の集団 森林の階層構造 (草本層のシダ) 【2/12】 シダは陸生植物 生物の分布 世界の植物分布 (日本の植物分布 (木生シダ) 【1/12】	生殖 受精 (4/12) 卵・精子 (性) と生殖 (配子生殖) (8/12) 無性生殖 (世代交代と核相交代) (12/12)	生物の進化 進化の証拠 古生代の木生シダ (4/12)	生物の種類と分類 植物の種類 (系統) (12/12)	
S45	生物 I 物質交代とエネルギー交代 細胞の構成 維管束構造 (仮道管) (2/8)	生物 II 生態 生物の集団 日本の生態系の分布 世界の植物分布 (旧熱帯多雨林の木生シダ) (1/7)	生物 I 生命の連続性 生殖 (4/8) 無性生殖 (配子生殖) (1/8) 有性生殖 (卵と精子の形成) (8/8) 世代交代	生物 II 生物の進化 生命の起源 生命の変遷 (古生代の木生シダ) (5/7) 植物の種類 (系統) (5/7)		
S53	生物 生物とエネルギー 細胞と組織の形成 維管束構造 (仮道管) (1/11) 同化 葉緑素を持つ 陰葉である 【3/11】 【1/11】	生物の集団 生物の成り立ち 森林の階層構造 (草本層にシダ) 生物の集団の変動 世界の植物分布 (旧熱帯多雨林の木生シダ) (1/11)	生殖と発生 無性生殖 (配子生殖) (31/35) 生活環 (世代交代) (28/35)	進化 生物の進化 (古生代の木生シダ) (31/35) 植物の種類 (系統) (18/35)		
H1	生物体の構造と機能 細胞 細胞の増殖 (染色体数) (2/12) 維管束構造 (仮道管) (1/12) 代謝 (同化) (2/12) 陰生植物	生物と環境 生物の集団 森林の階層構造 (草本層にシダ) 世界と日本の植物分布 (4/12)	生命の連続性 生殖と発生 (11/12) 生活環・核相交代 (12/12)	生物 II 生物の進化と系統 生物の進化 (系統的) (7/8) 植物の変遷 (系統) (7/8)	生物の種類と分類 生物の種類 (系統) (8/8) 生物の種類 (系統) (8/8)	
H11	生物 I 生命の連続性 細胞 シダ植物はなし	生物 II 生物の集団 生物群集と生態系 シダ植物はなし	生物 I 生命の連続性 生殖と発生 (2/8) 無性生殖 (配子生殖) (2/8)	理科総合 B・生物 II 生命と地球の移り変わり (B)・生物の種類と進化 (II) 生物の移り変わり (B) (8/8) 植物の進化 (古生代の木生シダ) (8/8) 生物の進化 (II) (8/8) 植物の進化 (古生代の木生シダ) (8/8)	生物の種類と分類 (B) 生物の種類 (系統) (8/8) 生物の種類と系統 (II) 生物の種類 (系統) (8/8)	

われていた。「構造」では、維管束構造としての仮道管が扱われていた。「分布」では、熱帯地区の代表的な植物として、木生シダが日本の植物分布で紹介されていた。「生殖」では、無性生殖で孢子生殖だけが、有性生殖でシダ植物が卵と精子を形成することと世代交代が扱われていた。「進化」では、系統進化が表にまとめられて扱われていた。「分類・系統」では、分類の特徴が簡素になり、分類方法も形態的なものから進化的なものになった。

昭和 53 年では、「構造」「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」においてシダ植物が扱われていた。「構造」では、維管束構造としての仮道管、シダ植物は日の当たらない場所で生育できる陰葉であることの他に、葉緑素としてクロロフィル a と b を持つことが扱われた。「分布」では、熱帯地区の代表的な植物として、木生シダが世界と日本の植物分布で紹介されていたこと、森林の階層構造の草本層にシダ植物が生育していることが扱われていた。「生殖」では、無性生殖の孢子生殖と生活環が扱われていた。「進化」では、植物進化の変遷の過程である古生代の木生シダが扱われ、「分類・系統」では、系統樹の紹介だけの扱いになり、ともに内容が簡素化されていた。

平成元年では、「構造」「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」においてシダ植物が扱われていた。「構造」では、維管束構造としての仮道管、シダ植物は日の当たらない場所で生育できる陰葉であることの他に、ゼンマイの核相が扱われた。「分布」では、熱帯地区の代表的な植物として、木生シダが世界と日本の植物分布で紹介されていたこと、森林の階層構造の草本層にシダ植物が生育していることが扱われていた。「生殖」では、無性生殖の孢子生殖と生活環が扱われていた。「進化」では、系統進化が表にまとめられて扱われていた。「分類・系統」では、系統樹の紹介だけの扱いになり、ともに内容が簡素化されていた。また、系統的に生物を分類するための形態学的・進化学的特徴が扱われていた。

平成 11 年では、学習指導要領の生物 I の内容において「生活環は扱わない」とされたため、生活環は生物 II で扱われるようになり、生物 I では「生殖」でシダ植物の地下茎が 8 社中 2 社扱っているだけであった。そのため、シダ植物は主に「進化」と「分類」の 2 項目でしか扱われていない。

シダ植物の扱いが減少した平成 11 年を除き、昭和 23 年の試案以降、平成元年まで一貫してシダ植物が扱われていた項目には、「分布」「生殖」「進化」「分類・系統」の 4 項目があった。「分布」は、昭和 23 年から世界と日本の植物分布を、昭和 35 年からは森林の階層構造を扱っていたが、これらを扱う教科書は、一部を除いてどの年代でも半分以下だった。

「生殖」は、昭和 23 年から無性生殖・有性生殖を、昭和 26 年から生活環（世代交代）を扱っていた。無性生殖は、孢子生殖が半数以上の教科書で扱われていたが、それ以外の生殖はスギナの地下茎が数回扱われるのみだった。有性生殖は、昭和 26 年までは精子形成、昭和 31、35、45 年は受精、昭和 53 年以降は生活環が中心に扱われていた。特に、孢子生殖と生活環はほぼすべての教科書で扱われていた。平成 11 年からは生物 I において「生活環は扱われない」とされていたため、「生殖」において、シダ植物は無性生殖の例として一部の教科書が扱う程度になった。

「進化」は、昭和 35 年でこの内容を扱う教科書が半数以下になったが、内容的には大きな変化もなく、古生代のシダ植物がほとんどの教科書で扱われていた。「分類・系統」

は、昭和 23 年で代表種を取り上げて形態的特徴を扱っていたが、昭和 26 年以降は、シダ植物の一般的な形態的特徴で分類を行っていた。しかし、昭和 45 年以降は、形態学的な特徴に加え、進化的な特徴も取り扱うようになっていた。平成元年では、理科総合 B において古生代のシダ植物と分類で扱われていた。

「構造」においては、昭和 35 年以降、扱う教科書が数社あり、維管束構造としての仮道管、日の当たらない場所で生育できる陰葉であること、葉緑素としてクロロフィル a と b を持つことなどが扱われていた。

一方、これらの項目で扱われていた観察・実験は、ほとんどが孢子体や孢子の観察、培養、前葉体の観察など、生活史に関するものであった。他にも維管束の仮道管、精子、減数分裂の観察などがあったが、これらの観察・実験を扱った教科書はごく僅かであった。また、生活環に関しては現在まで扱われ、ほぼすべての教科書で図入りで扱っていたにもかかわらず、生活環に関する実験・観察を扱う教科書はどの時代も半分にも満たなかった。平成 11 年ではからだのつくりとして根・茎・葉・孢子のう・維管束の観察が分類の項目で扱われるようになった (Table6)。

Table6 高等学校の教科書で扱われたシダ植物に関する観察・実験

S23 生物		S53 理科 I	
・前葉体の培養と観察	【1/2】	・前葉体の観察	【1/35】
S26 生物		・生活環の観察	【1/35】
・植物のからだのつくり	【2/10】	・植物のからだのつくり	【1/35】
・孢子の観察	【4/10】	生物	
・孢子の培養	【1/10】	・前葉体の培養と観察	【1/11】
・前葉体の観察	【1/10】	H1 生物 I B	
S31 生物		・生活史の観察	【1/12】
・孢子の観察	【1/4】	・前葉体の培養と観察	【3/12】
・前葉体の観察	【1/4】	・減数分裂の観察	【1/12】
S35 生物		生物 II	
・植物のからだのつくり	【1/12】	なし	【0/8】
・孢子の観察	【1/12】	H11 理科総合 B	
・孢子の培養	【3/12】	・植物のからだのつくり	【3/8】
・前葉体の観察	【2/12】	・前葉体の培養と観察	【3/8】
・精子の観察	【1/12】	・精子の観察	【1/8】
S45 生物 I		生物 I	
・前葉体の培養と観察	【1/8】	なし	【0/8】
生物 II		生物 II	
なし	【0/7】	・孢子の培養	【2/8】
		・前葉体の観察	【3/8】
		・植物のからだのつくり	【2/8】

S は昭和、H は平成
【シダを扱った教科書数/調査した教科書数】

梅埜（1996）は、アメリカの教科書の BSCS は日本の生物教育に対して極めて大きな影響を与えたとしている。この影響を受けたのが昭和 45 年の学習指導要領の改訂である。しかし、その前後のシダ植物の扱いの変遷はそれほど変化していない。このことは、現代化の過程においてもシダ植物は重要視されていたとも考えられる。しかし、平成 11 年の学習指導要領の改訂によって「生物 I」の生命の連続性ではシダ植物が無性生殖以外では扱われなくなり、これは日本の戦後のシダ植物の扱いの変遷で、最も大きな変化と考えられる。

第三節 小・中・高等学校の変遷と相互の関連性

小学校においてシダ植物がよく扱われていた内容には、「季節の植物を調べる」と「森林のつくり」があった。この 2 項目の共通点としては野外観察があげられる。「森林のつくり」においては森林に生育する植物の観察を行うために、種子植物以外の植物も多く目にするようになる。また、「季節の植物を調べる」においても同様である。しかし、「季節の植物を調べる」における学習指導要領の内容は、昭和 33 年版以前は「地域」や「野山」という語句が入っており、学校外の活動が行われていたのに対し、昭和 42 年以降は学校の校庭内の活動が主になった。このように、シダ植物が生育する環境を扱わなくなったこともシダ植物の扱いが少なくなった原因と考えられる。

中学校においても平成元年までは植物の一つとしてすべての教科書でシダ植物が扱われていたが、学習指導要領に扱わないことが明記されたために、平成 10 年からはシダ植物の扱いがなくなっている。また、身近な植物の観察もほとんどが学校内の自然の観察結果が例としてあげられ、中学校においてもシダ植物が生育している環境の扱いが少なくなった。

高等学校においても平成 11 年からシダ植物の扱いは減少した。理科総合 B の分類において、平成元年まで中学校で扱われていたシダ植物のからだのつくりが扱われるようになった。

各学校段階の系統性を見るために、平成 11 年の学習指導要領と、過去最も系統性が重視され、多くの内容が扱われた昭和 40 年代の学習指導要領におけるシダ植物の扱いの比較を行った。

昭和 40 年代においては、小学校では低学年におけるシダ植物の扱いはツクシなどの名称のみで、具体的な特性は扱われていない。高学年では「森林のつくり」で日の当たらない場所で生育する植物であるという特徴が扱われていた。中学校においては「生物の種類と生活」で、胞子体を中心とした生活環、また、分類や進化でシダ植物が扱われていた。高等学校においては、「生殖」における生活環と、「進化」における分類や進化でシダ植物が扱われていた。このように、小学校と中学校との間には、内容の重複はあまり見られず、系統的になっていると見ることができる。しかし、中学校と高等学校との間には、高等学校は多少専門的な内容になっているものの、生活環・分類・進化において内容の多くが重複していた。シダ植物以外も含めた全体的な流れとしては、小学校でシダ植物を紹介、中学校でシダ植物の特徴、高等学校で生殖を含めた生活環と、学年が上がるにつれ、その

内容がより詳細になっていた。

現行においては、小学校理科・中学校ではシダ植物は全く扱われていない。高等学校の選択科目である理科総合 B と生物Ⅱにおいて、生活環と系統分類の項目でシダ植物が扱われるようになったため、小学校・中学校・高等学校における内容との重複はなかった。しかし、文系に進学する多くの生徒が履修する生物Ⅰではシダ植物が扱われなくなったために、シダ植物を学習する機会は少なくなった。また、理系進学者は生物を履修する生徒が物理を履修する生徒より少ない。このことから、極めて多くの高等学校終了者がシダ植物を含めた分類・進化概念を欠くこととなった。

第 二 章

教科書で扱われたシダ植物と
生活で利用されてきたシダ植物

第一節 目的

日本列島は、温暖多雨な気候に恵まれているうえ、気候帯としても亜熱帯から亜寒帯までであるため、多種のシダ植物が生育しており、岩槻（1992）によると、その数は 630 種にも及ぶとされている。

日本では昔から多くの植物を生活に利用してきている。シダ植物も例外ではなく、いろいろなシダ植物が、様々な用途で生活に利用されてきた。そこで、生活に利用されてきたシダ植物を調査し、実際に教科書で扱われてきたシダ植物と比較することで、どのような身近なシダ植物が教材として利用できるかを検討した。

第二節 調査方法

教科書で扱われたシダ植物は、一部二章で調査したシダ植物の種名を抜き出し、岩槻（1992）と志村（1972）のシダ植物の図鑑をもとに、分類・分布をまとめ、その結果を表にした（Table7,8）。

日本に生育するシダ植物とその生活との関わりは、図鑑（前川ら 1961、志村 1972、岩槻 1992、八尋 1996）の記載事項を調査し、子供の遊びなどが記載されている著書（芹沢ら 1973、京都理科サークル 1977）、工業的な利用（柴田 1949）などの情報を加えてシダ植物の利用結果を表に示した（Table12）。さらに、教科書で扱われたシダ植物と同様に分類・分布をまとめ、その結果を表にした（Table13）。

第三節 教科書で扱われたシダ植物と生活との関わり

戦後、小・中・高等学校の教科書において、教材として取り扱われた現生のシダ植物の種類（化石のシダ植物を除く）は、小学校で 20 種、中学校で 26 種、高等学校で 42 種が扱われ、全部で約 50 種が扱われた（Table7）。

扱われた内容別に見ると、小学校においては、「身近な植物」でスギナ・ゼンマイ・ワラビ・ウラジロの 4 種しか扱われていなかった。「森林のつくり」では、トウゲシバ・ヒカゲノカズラ・クラマゴケ・コシダ・ウラジロ・ヘゴ・クジャクシダ・シシガシラ・ヤブソテツ・オシダ・ベニシダ・ミゾシダ・ホシダ・クサソテツ・イヌワラビ・シケチシダ・ノキシノブの 17 種類が扱われた。中学校においては、「身近な植物」で、イワヒバ・スギナ・トクサ・ゼンマイ・ウラジロ・ヘゴ・マルハチ・ワラビ・シノブ・イノモトソウ・シシガシラ・オシダ・イタチシダ・ベニシダ・ミゾシダ・イヌワラビ・シケチシダ・ノキシノブ・アカウキクサの 19 種類、「分類」でも、ヒカゲノカズラ・スギナ・トクサ・ゼンマイ・コシダ・ウラジロ・ワラビ・クジャクシダ・シシガシラ・コモチシダ・オニヤブソテツ・ヤブソテツ・オシダ・ヒメワラビ・イヌワラビ・ノキシノブ・サンショウモ・アカウキクサの 18 種類が扱われた。高等学校においては、「生殖」や「分類」で、マツバラシバ・ヒカゲノカズラ・イワヒバ・クラマゴケ・タチクラマゴケ・ミズニラ・スギナ・トクサ・

ハナヤスリ・ハナワラビ・フユノハナワラビ・リュウビンタイ・ゼンマイ・ウラジロ・カニクサ・コケシノブ・ヘゴ・マルハチ・ワラビ・シノブ・タマシダ・ハコネシダ・イノモトソウ・オオタニワタリ・トラノオシダ・ヤブソテツ・ベニシダ・ミヤマワラビ・クサソテツ・コウヤワラビ・イヌワラビ・ノコギリシダ・ヒトツバ・ノキシノブ・マメヅタ・デンジソウ・サンショウモ・アカクキクサの 38 種類が扱われ、「分布」などのその他の項目では、トクサ・フユノハナワラビ・リュウビンタイ・コシダ・ウラジロ・ヘゴ・マルハチ・トラノオシダ・ホソバカナワラビ・オシダ・ベニシダ・ミゾシダ・ミヤマワラビの 13 種類が扱われた。

教科書で扱われたシダ植物の分布は、北海道・東北・北陸・関東・東海・関西・中国・四国・九州・沖縄の 10 の地域に分けた場合、そのほとんどが少なくとも 7 つの地域に分布しており、日本の各地で採集可能である (Table8)。逆に地域が一部に限定されるものには、ヘゴ・マルハチ・トクサ・リュウビンタイ・タマシダ・オオタニワタリの 6 種がある。このうち、ヘゴ・マルハチは「木生」という特別な特徴がある。トクサはスギナ (ツクシ) に似た形態的な特徴を有するとともに、現在ではあまり利用されなくなったが、研磨剤として利用されたり、庭に観賞用に栽培される身近な植物として扱われたのではないかと推測される。ヘゴ・マルハチ・リュウビンタイ・タマシダ・オオタニワタリについては、沖縄から九州にかけて分布する亜熱帯性シダ植物の代表種として扱われたものと考えられる。

スギナ・ゼンマイ・ワラビ・イヌワラビは単独でよく扱われ、これらは生殖や生活環で扱われるという共通点があった。これらの多くは北海道から沖縄まで広く分布しており、教科書で扱う教材として、日本列島に広く分布して、採集が可能であることが分かる。

観察・実験の材料として扱われたシダ植物は、小学校では (Table9)、「身近な植物」でスギナとウラジロ、「森林のつくり」でトウゲシバ・ヒカゲノカズラ・クラマゴケ・コシダ・ウラジロ・ヘゴ・クジャクシダ・シシガシラ・ヤブソテツ・オシダ・ベニシダ・ミゾシダ・ホシダ・クサソテツ・イヌワラビ・シケチシダ・ノキシノブがあげられる。しかし、中学校では (Table10)、ワラビ・ノキシノブ・オシダ・イヌワラビ・スギナ・ゼンマイ・ベニシダ・オクマワラビの 8 種しか材料として用いられておらず、シダ植物を扱っていた場合でも『シダ』とだけ記載されていたり、種を限定していない場合が多数あった。高等学校 (Table11) では、イヌワラビ・スギナ・ワラビ・ベニシダ・シケチシダ・ヤブソテツ・ノキシノブの 7 種しか材料として用いられておらず、中学と同様に『シダ』とだけ記載があるものや、種を限定していない場合が多数あった。小学校では観察や活動が主な内容であるため、活動で扱うシダ植物を除くと、実際に実験に用いるシダ植物は、小学校から高等学校まであわせても、イヌワラビ・スギナ・ワラビ・ベニシダ・シケシダ・ヤブソテツ・ノキシノブ・オシダ・ゼンマイ・オクマワラビの 10 種しかなかった。この 10 種の分布は、やはり日本列島の広い地域に分布し、全国で採集が可能なシダ植物が用いられていることが分かる。

Table7 教科書で扱われたシダ植物

	小学校	中学校	高等学校
	校庭	森林	進化
	進北	身近	分類
	進化	進化	進化
	その他	その他	その他
マツバラ科 マツバラ属 マツバラ			
ヒカゲノカズラ科 ヒカゲノカズラ属 トウカシバ ヒカゲノカズラ	○	○	○
イワヒバ科 イワヒバ属 イワヒバ クラマゴケ タチクラマゴケ		○	○
ミズニラ科 ミズニラ属 ミズニラ			○
トクサ科 トクサ属 トクサ		○	○
ハチヤスリ科 ハチヤスリ属 ハチヤスリ (属名) ハナワラビ属 (属名) ハナワラビ (属名) フユノハナワラビ	○	○	○
リュウビンドライ科 リュウビンドライ属 リュウビンドライ			○
ゼンマイ科 ゼンマイ属 ゼンマイ		○	○
ウラボシ科 ウラボシ属 ウラボシ		○	○
フサシダ科 フサシダ属 フサシダ		○	○
コケシノブ科 コケシノブ属 コケシノブ		○	○
ヘゴ科 ヘゴ属 ヘゴ		○	○
コバノイシガクマ科 コバノイシガクマ属 コバノイシガクマ		○	○
シノブ科 シノブ属 シノブ		○	○
ツルシダ科 ツルシダ属 ツルシダ		○	○
ホウライシダ科 ホウライシダ属 ホウライシダ		○	○
イノモトソウ科 イノモトソウ属 イノモトソウ		○	○
チャゼンシダ科 チャゼンシダ属 チャゼンシダ		○	○
シシカシラ科 シシカシラ属 シシカシラ		○	○
オシダ科 オシダ属 オシダ		○	○
ヒメシダ科 ヒメシダ属 ヒメシダ		○	○
イワテツクサ科 イワテツクサ属 イワテツクサ		○	○
メシダ科 メシダ属 メシダ		○	○
ヘラシダ科 ヘラシダ属 ヘラシダ		○	○
ウラボシ科 ウラボシ属 ウラボシ		○	○
ヒトツバ科 ヒトツバ属 ヒトツバ		○	○
マメツタ科 マメツタ属 マメツタ		○	○
テングシラ科 テングシラ属 テングシラ		○	○
サンショウモ科 サンショウモ属 サンショウモ		○	○
アカウキクサ科 アカウキクサ属 アカウキクサ		○	○
その他		○	○

※属名のもの分布は記載していない

Table8 教科書で扱われたシダ植物の分布

	北海道	東北	北陸	関東	東海	関西	中国	四国	九州	沖縄
マツバラシ科 マツバラシ属 マツバラシ			△	△	○	○	○	○	○	○
ヒカゲノカズラ科 ヒカゲノカズラ属 ヒカゲノカズラ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
イワヒバ科 イワヒバ属 イワヒバ クハラマゴケ クハラマゴケ		○	△	○	○	○	○	○	○	○
ミズニラ科 ミズニラ属 ミズニラ		△	○	○	○	○	○	○	△	△
トクサ科 トクサ属 トクサ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ハナヤスリ科 ハナヤスリ属 ハナヤスリ (風名)		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ハナワラビ科 ハナワラビ属 ハナワラビ (風名)		△	○	○	○	○	○	○	○	○
リュウビシダ科 リュウビシダ属 リュウビシダ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ゼンマイ科 ゼンマイ属 ゼンマイ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ウラボシ科 ウラボシ属 ウラボシ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
フサシダ科 フサシダ属 フサシダ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
コケシノブ科 コケシノブ属 コケシノブ		○	○	○	○	○	○	○	△	△
ハゴ科 ハゴ属 ハゴ		○	○	○	○	○	○	○	△	△
コバノイシカグマ科 コバノイシカグマ属 コバノイシカグマ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
シノブ科 シノブ属 シノブ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ツルシダ科 ツルシダ属 ツルシダ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
ホウライシダ科 ホウライシダ属 ホウライシダ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
クジャシダ科 クジャシダ属 クジャシダ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
イノモトソウ科 イノモトソウ属 イノモトソウ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
チャセソウ科 チャセソウ属 チャセソウ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
シシガシラ科 シシガシラ属 シシガシラ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
オモトソウ科 オモトソウ属 オモトソウ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
ヤブソウ科 ヤブソウ属 ヤブソウ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
カナワラビ科 カナワラビ属 カナワラビ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
オシダ科 オシダ属 オシダ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒメシダ科 ヒメシダ属 ヒメシダ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
イワデンタ科 イワデンタ属 イワデンタ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
クサソウ科 クサソウ属 クサソウ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
メシダ科 メシダ属 メシダ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
オオシケシダ科 オオシケシダ属 オオシケシダ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ヘラシダ科 ヘラシダ属 ヘラシダ		△	△	○	○	○	○	○	○	○
ウラボシ科 ウラボシ属 ウラボシ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
ヒトツバ科 ヒトツバ属 ヒトツバ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
ノキシノブ科 ノキシノブ属 ノキシノブ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
マメツク科 マメツク属 マメツク		△	○	○	○	○	○	○	○	○
デンシソウ科 デンシソウ属 デンシソウ		△	○	○	○	○	○	○	○	○
サンショウモ科 サンショウモ属 サンショウモ		○	○	○	○	○	○	○	○	○
アカウキクサ科 アカウキクサ属 アカウキクサ		○	○	○	○	○	○	○	○	○

※風名のものの分布は記載していない

Table9 小学校の教科書におけるシダ植物に関連した観察・実験・活動

項目	季節の植物を調べる	シダ植物を扱った教科書数	生物が変化してきた様子	シダ植物を扱った教科書数	森林のつくり	シダ植物を扱った教科書数
S22	スギナの継ぎ目あて ウラジロの飾り	【1/3】 【2/3】				
S27	スギナの継ぎ目あて	【2/6】				
S33	スギナの継ぎ目あて	【1/7】			林の中の植物の観察 (どんな植物があるか)	【3/7】
S43	スギナの継ぎ目あて	【1/6】			林の中の植物の観察 (どんな植物があるか)	【5/6】
S52		【0/6】			林の中の植物の観察 (どんな植物があるか)	【4/6】
H1		【0/6】			※課題研究の材料として 葉のデンプンを調べる	【1/6】
	生活科	【0/9】				
H10		【0/6】				
	生活科					
	スギナの継ぎ目あて ツクシを食べる	【2/9】 【1/9】				

【シダ植物が記載されている教科書数/調査した教科書数】

林の中の植物で扱われたシダ植物 (17種)

トウゲシバ・ヒカゲノカズラ・クラマゴケ・コシダ・ウラジロ・ヘゴ・クジャクシダ
シシガシラ・ヤブソテツ・オシダ・ベニシダ・ミゾシダ・ホシダ・クサソテツ・イヌワラビ
シケチシダ・ノキシノブ

葉のデンプンの材料

シダ植物

Table10 中学校の教科書で扱われたシダ植物に関する観察・実験

	実験・観察内容	方法	材料	扱った教科書数	シダを扱った教科書の総数
S22	・ 胞子の観察	・ 野外採集し、顕微鏡で観察	ワラビ・ノキシノブ	1	[1 / 3]
S26	・ 植物のからだのつくり	・ 根・茎のつきかたを観察	シダ	1	[2 / 10]
	・ 胞子の観察	・ 全形のスゲツ子	シダ	1	
	・ 胞子の培養	・ 胞子のつきかた、形を観察	シダ	3	
		・ 素焼きの鉢に湿らせたミズゴケを入れて培養	スギナ イヌワラビ ワラビ	1 1 1	
S33	・ 植物のからだのつくり	・ 胞子体の全形を観察	ワラビ ノキシノブ・スギナ イヌワラビ	1 1 1	[4 / 7]
	・ 胞子の観察	・ 胞子のうと胞子の観察	ワラビ イヌワラビ ノキシノブ・スギナ シダ類・スギナ イヌワラビ ワラビ・ノキシノブ シダ	1 1 1 1 1 1 1	
		・ 胞子体の全形を観察	ワラビ イヌワラビ	1 2	
		・ 茎の切片を作成し、顕微鏡で観察	シダ イヌワラビ	2 1	
		・ 胞子のうと胞子の観察	シダ ワラビ イヌワラビ	1 1 2	
		・ 胞子の培養	シダ シダ	1 1	
		・ 前葉体の観察	シダ	1	
		・ 植物のからだのつくりと胞子の観察	イヌワラビ・ベニシダ ワラビ イヌワラビ・ワラビ オクマワラビ・イヌワラビ シダ	1 1 1 1 1	
		・ 植物のからだのつくりと胞子の観察	イヌワラビ シダ イヌワラビ イヌワラビ	1 1 2 1	
		・ シダ植物はなし		1		[ 5 / 5 ] [ 2 / 5 ] [ 1 / 5 ] [ 5 / 5 ] [ 5 / 5 ] [ 5 / 5 ] [ 5 / 5 ]
H1	・ 植物のからだのつくりと胞子の観察	・ 胞子体の全形と胞子を観察	イヌワラビ・オクマワラビ シダ イヌワラビ・オクマワラビ シダ	1 1 2 1 1	[5 / 5] [0 / 5]
H10	・ シダ植物はなし				

Table11 高等学校の教科書で扱われたシダ植物に関する観察・実験

教科名	実験・観察内容	方法	材料	扱われている教科書数	シダを扱った教科書の総数
S23	生物 ・前葉体の培養と観察	・水に浸した素焼きのかけらで培養 ・前葉体を顕微鏡で観察	イヌワラビ	1	[1/2]
S26	生物	・植物のからだのつくり ・胞子の観察	イヌワラビ イヌワラビ シダ	1 1 3	[1/10] [4/10]
		・胞子の培養 ・前葉体の観察	スギナ シダ	1 1	[1/10] [1/10]
	生物	・胞子の観察 ・前葉体の観察	シダ	1	[1/4]
	生物	・植物のからだのつくり ・胞子の観察 ・胞子の培養	イヌワラビ シダ イヌワラビ・シゲシダ	1 1 2	[1/12] [1/12] [3/12]
S31	生物	・前葉体の観察	シダ	1	[1/4]
	生物	・植物のからだのつくり ・胞子の観察 ・胞子の培養	イヌワラビ シダ イヌワラビ・シゲシダ	1 1 1	[1/12] [1/12] [2/12]
		・前葉体の観察	シダ	1	[1/12]
	生物 I	・胞子の観察	イヌワラビ・シゲシダ	1	[1/12]
S45	生物 I	・前葉体の培養と観察	ヘニシダ・ヤブソテツ	1	[1/8]
	生物 II	なし			[0/7]
S53	理科 I	・前葉体の観察 ・世代交代の観察	シダ イヌワラビ	1 1	[1/35] [1/35]
	生物	・世代交代の観察	イヌワラビ	1	[1/11]
H1	生物 I B	・生活史の観察 ・前葉体の培養と観察	イヌワラビ イヌワラビ ワラビ	1 1 1	[1/12] [1/12]
		・減数分裂の観察	シダ	1	[3/12]
	生物 II	なし	イヌワラビ・ワラビ・ノキシノブ	1	[1/12]
	理科総合 B	・植物のからだのつくり ・前葉体の培養と観察 ・胞子の観察	イヌワラビ・ワラビ・ノキシノブ イヌワラビ・センマイ シダ イヌワラビ ワラビ イヌワラビ イヌワラビ	1 1 1 1 1 1	[0/8] [3/8] [3/8] [1/8]
H11	生物 I	なし			[0/8]
	生物 II	・胞子の培養と前葉体の観察	イヌワラビ・ワラビ・ノキシノブ	1	[2/8]
	・前葉体の培養と観察	イヌワラビ・ワラビ・ノキシノブ	1	[2/8]	

第四節 生活に利用されてきたシダ植物

日本に生育するシダ植物は約 630 種あり、調査方法で記した図鑑等での記載をもとに調査した結果、それらのうちの約 10 %にあたる約 60 種が生活に何らかの関わりを持っていた (Table12)。

利用法としては、鑑賞用が最も多く、マツバラシダ・スギラン・ヒカゲノカズラ・マンネンズギ・ミズスギ・イワヒバ・トクサ・ヒメドクサ・リュウビソウ・コシダ・ウラボシ・カニクサ・ヘゴ・マルハチ・シノブ・タマシダ・ヒメウラボシ・ホウライシダ・ハコネシダ・クジャクシダ・オオバノモトソウ・ホコシダ・コタニワタリ・オオタニワタリ・シマオオタニワタリ・オニヤブソテツ・ヤブソテツ・オシダ・チリメンシダ・クサソテツ・イヌガンソク・イヌワラビ・イワオモダカ・ヒトツバ・カザリシダの 35 種あった。

次に多かったのは薬用で、マツバラシダ・ヒカゲノカズラ・カタヒバ・イヌカタヒバ・スギナ・イヌスギナ・フサスギナ・トクサ・ミヤマコジマハナワラビ・フユノハナワラビ・ナツノハナワラビ・ヒノタニリュウビソウ・ゼンマイ・カニクサ・イリオモテチャミセンズル・タカワラビ・ホラシノブ・ホウライクジャク・ホウライシダ・ハコネシダ・ホコシダ・オシダ・イッポンワラビの 22 種あった。

食用とされたシダには、マンネンズギ・スギナ・フサスギナ・ミヤマコジマハナワラビ・ゼンマイ・ヤマドリゼンマイ・ヤマソテツ・ワラビ・ミズワラビ・ミミモチシダ・オオタニワタリ・ヤブソテツ・クサソテツ・イッポンワラビ・ミヤマシダ・クワレシダの 16 種があった。

その他の用途としては、装飾にヒカゲノカズラ・ウラボシが、詰め物にミズスギ・トクサ・コシダが、子どもの遊びにスギナ・ウラボシが、工芸品にコシダ・ウラボシ・マルハチが、園芸資材にヘゴ・マルハチ・ヒカゲヘゴ・クロヘゴが使用され、生活における利用法は多岐にわたっていた。

生活に関わるシダ植物の分布 (Table13) は、観賞用に扱われているシダ植物の場合は 5 地域以上に分布しているものが多い。鑑賞用としての扱いは時代によって異なり、戦前まではホウライシダのなかまが中心であった。最近では、ガーデニングの需要が増加し、チリメンシダなどの品種改良したものや、アジアンタムなどの輸入種も含め、50 種類以上が観賞用として扱われ、園芸店などで購入可能となっている。

薬として利用されてきたシダ植物には、5 地域以上に分布し広い分布域をもつものが半数近くを占めていた。しかし、一部の地域にしか分布していないシダ植物には、イヌカタヒバ・ミヤマコジマハナワラビ・ヒノタニリュウビソウ・イリオモテチャミセンズル・タカワラビ・ホラシノブ・ホウライクジャク・ホコシダの 8 種があり、地域性を持つものもあった。民間薬としてはノキシノブやカニクサなどがよく利用され、その効用は利尿作用などがある。現在では、漢方薬の利用は少なくなったため、薬用植物としてのシダ植物の価値は、昔に比べて低くなったと考えられる。

食用として利用されてきたシダ植物の代表としてワラビ・ゼンマイ・スギナ (ツクシ) ・クサソテツ (コゴミ) の 5 種がある。これらは全国的に分布しており、特にワラビとゼンマイは山菜の代名詞ともなっている。食用で分布が一部の地域に限定されるものは、フサスギナ・ミヤマコジマハナワラビ・ミミモチシダ・オオタニワタリ・クワレシダの 5 種

Table12 生活に利用されてきたシダ植物

	食用	薬用	鑑賞	装飾	その他
マツバラシ科 マツバラシ属 マツバラシ		○	○	○	その他
ヒカゲノカズラ科 ヒカゲノカズラ属 ヒカゲノカズラ マンネンズギ ミスズギ		○	○	○	丸葉の衣 詰め物
イワヒバ科 イワヒバ属 イワヒバ カタヒバ イヌカタヒバ		○	○	○	
トクサ科 トクサ属 スギナ イヌスギナ フサスギナ トクサ ヒメトクサ		○	○	○	遊び 研磨剤・詰め物
ハナヤスリ科 ミヤコシマハナワラビ属 ミヤコシマハナワラビ ハナワラビ属 フユノハナワラビ ナツノハナワラビ		○	○	○	
リュウビョウ科 リュウビョウ属 リュウビョウ ヒノタニリュウビョウ		○	○	○	
ゼンマイ科 ゼンマイ属 ゼンマイ ヤマドリゼンマイ		○	○	○	園芸資材
キジノオシダ科 キジノオシダ属 ヤマソテツ		○	○	○	
ウラボシ科 コシダ属 コシダ ウラボシ属 ウラボシ		○	○	○	工芸品・詰め物 工芸品・遊び
フサシダ科 カニクサ属 カニクサ イリオモテシヤミセンズル		○	○	○	
ヘゴ科 ヘゴ属 ヘゴ マルハチ ヒカゲヘゴ クロヘゴ		○	○	○	園芸資材・工芸品 園芸資材 園芸資材
タカラワラビ科 タカラワラビ属 タカラワラビ		○	○	○	詰め物
コバノイシカガマ科 ワラビ属 ワラビ		○			その他
ホングウシダ科 ホラシノ属 ホラシノ		○			細
シノブ科 シノブ属 シノブ		○			
ツルシダ科 タマシダ属 タマシダ		○			
ホウライシダ科 ミスワラビ属 ミスワラビ エビガシダ属 ヒメウラボシ ホウライシダ属 クジャク ホウライシダ ハコネシダ クジャクシダ		○	○	○	○
イノモトソウ科 イノモトソウ属 イノモトソウ オオバノイノモトソウ ホコシダ		○	○	○	○
チャセンシダ科 チャセンシダ属 チャセンシダ コタニワタリ オオタニワタリ シマオオタニワタリ		○	○	○	○
オシダ科 ヤブソテツ属 オニヤブソテツ ヤブソテツ オシダ オシダ チリメンシダ		○	○	○	詰め物
イワテンシダ科 クサソテツ属 クサソテツ コウヤワラビ属 イヌガンソク メシダ属 イヌワラビ シケチシダ属 イッポンワラビ ヘラシダ属 ミヤマシダ クワレシダ		○	○	○	○
ウラボシ科 ヒトツバ属 ヒトツバ カザリシダ カザリシダ		○	○	○	○

Table13 生活に利用されてきたシダ植物の分布

	北海道	東北	北陸	関東	東海	関西	中国	四国	九州	沖縄
マツバラン科 マツバラン属 マツバラン										
ヒカゲノカズラ科 ヒカゲノカズラ属 ヒカゲノカズラ										
スギラン ヒカゲノカズラ マンネンスギ ミスズギ										
イワヒバ科 イワヒバ属 イワヒバ カタヒバ イヌカタヒバ										
トクサ科 トクサ属 トクサ スギナ イヌスギナ フサスギナ トクサ ヒメトクサ										
ハナヤスリ科 ミヤコジマハナワラビ属 ミヤコジマハナワラビ ハナワラビ属 フユノハナワラビ ナツノハナワラビ										
リュウビンタイ科 リュウビンタイ属 リュウビンタイ ヒメタニリュウビンタイ										
ゼンマイ科 ゼンマイ属 ゼンマイ ヤマドリゼンマイ										
キジノオシダ科 キジノオシダ属 ヤマソテツ										
ウラボシ科 ウラボシ属 ウラボシ ウラボシ										
フサシダ科 カニクサ属 カニクサ イリオモテシヤミゼンズル										
ヘゴ科 ヘゴ属 ヘゴ マルハチ ヒカゲヘゴ クロヘゴ										
タカワラビ科 タカワラビ属 タカワラビ										
コバノイシカダマ科 ワラビ属 ワラビ ホングウシダ科 ホラシノブ属 ホラシノブ										
シノブ科 シノブ属 シノブ										
ツルシダ科 タマシダ属 タマシダ ホウライシダ科 ミズワラビ属 ミズワラビ エビガシラシダ属 ホウライシダ属 ホウライシダ ハコネシダ クシヤクシダ										
イノモトソウ科 イノモトソウ属 イノモトソウ オオハライノモトソウ ホコシダ										
チヤセシダ科 チヤセシダ属 チヤセシダ コタニワタリ オホタニワタリ シマオオタニワタリ										
オシダ科 ヤブソテツ属 ヤブソテツ オシダ属 オシダ チリメンシダ										
イワテツ属 クサソテツ属 クサソテツ コウヤワラビ属 メシダ属 メシダ シケチシダ属 ヘラシダ属 ミヤマシダ クワレシダ										
ウラボシ科 ヒトツツハ属 ヒトツツハ カザリシダ属 カザリシダ										

がある。フサスギナは北海道、ミヤコジマハナワラビ・ミミモチシダ・オオタニワタリ・クワレシダは九州・沖縄が主な分布になり、これらは各地方独特の食材となっている。

以上のことから、新しい教材を開発するには、これらのうちから、生活に密着し広く分布するものを教材化する方法と、地域特有なものを地方教材化する二つの方法が考えられる。

参考文献

一章

梅埜國夫 (1996) 生物教育の現代化. 冬至書房

二章

荒垣秀雄・飯田龍太・池坊専水・西山松之助 (1988) 四季花ごよみ〔春〕. 講談社

伊藤洋 (1969) 小笠原のシダ植物. 遺伝 **23** (8): 35-41

岩槻邦男編 (1992) 日本の野生植物. 平凡社

京都理科サークル編 (1977) 自然の中の遊び. 創元社

栗田子郎 (1988) シダの民族植物誌. 遺伝 **42** (3): 25-30

柴田桂太編 (1949) 資源植物事典. 北隆館

志村義雄 (1973) 日本シダ植物生態写真集成. 採集と飼育の会

志村義雄 (1983) 日本特産のシダ. 採集と飼育 **45** (2): 77-81

芹沢俊介・稲橋卓・森本巳希子 (1973) 野外活動アイデアブック. 愛知みどりの会

前川文夫・原寛・津山尚 (1961) 牧野新日本植物図鑑. 北隆館

八尋洲東編 (1996) 植物の世界 **133**. 朝日新聞社

八尋洲東編 (1996) 植物の世界 **134**. 朝日新聞社

八尋洲東編 (1996) 植物の世界 **135**. 朝日新聞社

調査した学習指導要領

小学校

- 文部省 (1947) 学習指導要領 理科編 (試案)
- 文部省 (1952) 小学校 学習指導要領 理科編 (試案)
- 文部省 (1958) 小学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1968) 小学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1977) 小学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1989) 小学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1998) 小学校 学習指導要領 (理科)

中学校

- 文部省 (1947) 学習指導要領 理科編 (試案)
- 文部省 (1952) 中学校・高等学校 学習指導要領 理科編 (試案)
- 文部省 (1958) 中学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1969) 中学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1977) 中学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1989) 中学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1998) 中学校 学習指導要領 (理科)

高等学校

- 文部省 (1948) 高等学校 学習指導要領 (試案)
- 文部省 (1952) 中学校・高等学校 学習指導要領 理科編 (試案)
- 文部省 (1958) 小学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1955) 高等学校 学習指導要領 理科編
- 文部省 (1960) 高等学校 学習指導要領 理科
- 文部省 (1970) 高等学校 学習指導要領 理科
- 文部省 (1978) 高等学校 学習指導要領 理科
- 文部省 (1989) 高等学校 学習指導要領 (理科)
- 文部省 (1999) 高等学校 学習指導要領 (理科)

調査教科書

小学校理科

昭和22年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
新科学研究会	よいこの科学	広島図書	昭和24年	昭和24年検定済
内藤卯三郎・松原益太ほか 共編	新しい理科	啓林館	昭和26年	昭和25年検定済
大槻虎男	小学生の理科	二葉図書	昭和28年	昭和26年検定済

昭和27年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
茅誠司・服部静夫	改訂 新しい理科	東京書籍	昭和28年	昭和27年検定済
湯川秀樹・菊池正士・緒方富雄	小学校 理科	学校図書	昭和29年	昭和29年検定済
藤原武夫ほか	よいこの科学	大阪書籍	昭和30年	昭和27年検定済
阿部余四男・中江大部ほか	理科の学習	学校図書	昭和27年	昭和27年検定済
内藤卯三郎	小学理科	啓林館	昭和28年	昭和28年検定済
津田栄	理科	二葉図書	昭和31年	昭和30年検定済

昭和33年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
大塚明郎ほか	小学理科	日本書籍	昭和43年	昭和42年改訂検定済
金子淳一ほか	小学理科	大阪書籍	昭和37年	昭和35年検定済
緒方富雄・菊池正士・湯川秀樹ほか	小学校理科	学校図書	昭和36年	昭和35年検定済
岡田要・坪井忠二ほか	理科	大日本図書	昭和36年	昭和35年検定済
藤田穆	理科の世界	大日本図書	昭和36年	昭和35年検定済
茅誠司・服部静夫	新しい理科	東京書籍	昭和35年	昭和35年検定済
内藤卯三郎 編	小学新理科	啓林館	昭和35年	昭和35年検定済

昭和43年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
永田義夫 編	理科	啓林館	昭和45年	昭和45年検定済
和達清夫・川村智治郎・近藤正夫ほか	改訂 標準 理科	教育出版	昭和49年	昭和48年改訂検定済
坪井忠二・藤田穆ほか	小学校 新理科	大日本図書	昭和49年	昭和48年改訂検定済
菊池正士・前川文夫・赤松弥男ほか	小学校理科	学校図書	昭和49年	昭和48年改訂検定済
玉虫文一	理科	信濃	昭和49年	昭和48年改訂検定済
藤井隆・蓮沼宏ほか	新訂 新しい理科	東京書籍	昭和45年	昭和45年検定済

昭和52年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
近角聡信・水野丈夫ほか	新しい理科	東京書籍	昭和55年	昭和54年検定済
大木道則ほか	理科	啓林館	昭和55年	昭和54年検定済
前川文夫・赤松弥男・荻須正義ほか	小学校理科	学校図書	昭和55年	昭和54年検定済
戸田盛和・岩橋八洲民ほか	新版 たのしい理科	大日本図書	昭和61年	昭和60年改訂検定済
和達清夫・北澤弥吉郎・近藤正夫ほか	新訂 小学理科	教育出版	昭和61年	昭和60年改訂検定済
玉虫文一 編	理科	信濃	昭和61年	昭和60年改訂検定済

平成元年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
内田正男・根本和成ほか	みんなの理科	学研	平成4年	平成3年検定済
掛川一夫ほか	新しい理科	信濃	平成4年	平成3年検定済
戸田盛和ほか	たのしい理科	大日本図書	平成4年	平成3年検定済
水野丈夫・三浦登ほか	新しい理科	東京書籍	平成4年	平成3年検定済
大木道則ほか	理科	啓林館	平成4年	平成3年検定済
永野重史・宮脇昭ほか	新版 理科	教育出版	平成4年	平成3年検定済

平成10年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
戸田盛和・有馬朗人ほか	たのしい理科	大日本図書	平成17年	平成16年検定済
三浦登・奥井智久・毛利衛ほか	新編 新しい理科	東京書籍	平成17年	平成16年検定済
大隈良典・石浦幸一・鎌田正裕ほか	わくわく理科	啓林館	平成17年	平成16年検定済
日高敏隆ほか	小学校 理科	学校図書	平成17年	平成16年検定済
掛川一夫ほか	たのしい理科	信濃	平成18年	平成16年検定済
養老孟子・角や重樹 監修	小学 理科	教育出版	平成17年	平成16年検定済

小学校生活科

平成元年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
高野清純ほか	わたしたちのせいかつ	日本図書	平成5年	平成3年検定済
森隆夫ほか	せいかつ	光村図書	平成4年	平成3年検定済
加藤一郎・間宮武ほか	しょうがっこう せいかつ	学校図書	平成4年	平成3年検定済
水野丈夫・寺崎昌男ほか	あたらしい せいかつ	東京書籍	平成5年	平成3年検定済
日比裕・森田孝ほか	わたしたちのせいかつ	大阪書籍	平成4年	平成3年検定済
大野連太郎ほか	しょうがくせいせいせいかつ	中教出版	平成4年	平成3年検定済
坂本昇一・根本和成ほか	みんなのせいかつ	学研	平成4年	平成3年検定済
東洋・栗岩英雄・滝沢武久ほか	たのしいせいかつ	大日本図書	平成4年	平成3年検定済
武村重和・梶田観一ほか	生活	啓林館	平成4年	平成3年検定済

平成10年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
森隆夫ほか	せいかつ	光村図書	平成17年	平成16年検定済
北尾倫彦 監修	しょうがっこう せいかつ	学校図書	平成17年	平成16年検定済
中野重人ほか	あたらしい せいかつ	東京書籍	平成17年	平成16年検定済
藤井千春ほか	わたしたちのせいかつ	大阪書籍	平成17年	平成16年検定済
東洋・滝沢武久ほか	新版 たのしいせいかつ	大日本図書	平成17年	平成16年検定済
西村肇ほか	せいかつ	一橋出版	平成17年	平成16年検定済
養老孟司・児島邦宏 監修	せいかつ	教育出版	平成17年	平成16年検定済
加藤幸次・水越敏行ほか	わたしとせいかつ	日本文教	平成17年	平成16年検定済
天野正輝・寺尾慎一ほか	せいかつ	啓林館	平成17年	平成16年検定済

中学校理科

昭和22年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
文部省	私たちの科学	文部省	昭和25年	昭和25年検定済
理科研究委員会	私たちの科学研究	大日本図書	昭和25年	昭和24年検定済
科学教育研究会	中学生の科学	学芸出版	昭和26年	昭和25年検定済

昭和26年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
茅誠司・服部静夫 編	改訂 新しい科学	東京書籍	昭和27年	昭和27年検定済
理科研究九州地区委員会ほか	科学の世界	大日本図書	昭和26年	昭和26年検定済
理科研究中国地方委員会ほか	理科の世界	大日本図書	昭和29年	昭和29年検定済
真島正市・山本勇・福田邦三 監修	中学理科	学校図書	昭和26年	昭和26年検定済
津田栄ほか 編	中学生の理科	二葉図書	昭和28年	昭和28年検定済
喜多見昇ほか	中学生の理科	三省堂	昭和29年	昭和29年検定済
中谷宇吉郎ほか	自然	光村図書	昭和28年	昭和28年検定済
湯川秀樹・菊池正士・緒方富雄 監修	中学校 理科	学校図書	昭和29年	昭和29年検定済
科学教育研究会	新版 中学生の科学	学芸出版	昭和32年	昭和31年検定済
理科教育研究会	中学校理科 理科	青雲社	昭和28年	昭和28年検定済

昭和33年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
茅誠司・服部静夫 編	新しい科学	東京書籍	昭和37年	昭和36年検定済
岡田要・坪井忠二ほか	中学校理科	大日本図書	昭和37年	昭和36年検定済
内藤卯三郎 編	中学新理科	啓林館	昭和37年	昭和36年検定済
藤原武夫・大槻虎夫 監修	標準 中学理科	教育出版	昭和36年	昭和36年検定済
大島文義ほか 編集	中学理科	学研	昭和38年	昭和36年検定済
科学教育研究会	中学生の科学	学芸出版	昭和36年	昭和36年検定済
白井俊明ほか	中学理科	大阪書籍	昭和44年	昭和43年改訂検定済

昭和44年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
伊勢村寿三 編	理科2	啓林館	昭和46年	昭和46年検定済
坪井忠二・藤田穆ほか	中学校 新理科 2分野	大日本図書	昭和46年	昭和46年検定済
茅誠司・服部静夫・蓮沼宏ほか	新しい科学 2分野	東京書籍	昭和49年	昭和46年検定済
和達清夫・川村智次郎ほか	新版 標準 中学理科 第2分野	教育出版	昭和46年	昭和46年検定済
伏見康司・前川文夫ほか	中学校理科 第2分野	学校図書	昭和46年	昭和46年検定済

昭和52年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
霜田光一・沼田真ほか	中学校理科 2分野	学校図書	昭和62年	昭和61年検定済
大木道則ほか	理科 2分野	啓林館	昭和57年	昭和55年検定済
戸田盛和・岩橋八洲民ほか	新版 中学校理科 2分野	大日本図書	昭和62年	昭和62年検定済
藤井隆・近角聡信・長倉三郎ほか	新しい科学 2分野	東京書籍	昭和56年	昭和55年検定済
和達清夫・北澤弥吉郎ほか	中学理科 第2分野	教育出版	昭和58年	昭和55年検定済

平成元年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
霜田光一・沼田真ほか	中学校 理科 2分野	学校図書	平成5年	平成4年検定済
大木道則ほか	理科 2分野	啓林館	平成4年	平成4年検定済
上田誠也・三浦登・水野丈夫ほか	新しい科学 2分野	東京書籍	平成5年	平成4年検定済
戸田盤和ほか	中学校理科 2分野上・下	大日本図書	平成5年	平成4年検定済
細谷治夫・藍尚禮・宮脇昭ほか 監修	新版 中学理科 2分野上・下	教育出版	平成5年	平成4年検定済

平成10年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
霜田光一・日高敏隆ほか	中学校理科 2分野	学校図書	平成14年	平成13年検定済
竹内敬人・山極隆・森一夫ほか	理科 2分野	啓林館	平成14年	平成13年検定済
三浦登ほか	新しい科学 2分野	東京書籍	平成14年	平成13年検定済
戸田盛和ほか	中学校理科 2分野	大日本図書	平成14年	平成13年検定済
細谷治夫・養老孟司・下野洋ほか	中学理科 2分野	教育出版	平成14年	平成13年検定済

高等学校理科

昭和23年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
文部省	生物の科学	文部省	昭和25年	昭和25年検定済
川口央ほか	高等学校 生物	好学社	昭和27年	昭和25年検定済

昭和26年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
篠遠善人・沼野井春雄・斉藤十六	自然の探求 生物	中教出版	昭和28年	昭和27年検定済
井上清恒・湯浅明	生物の教室	実教出版	昭和29年	昭和28年修正検定済
本田正次 編	高等学校 生物	清水書院	昭和29年	昭和29年検定済
木下治雄・佐藤重平・富山一郎ほか	生物	大日本図書	昭和31年	昭和30年検定済
本城市次郎 編	高等学校 理科 生物	啓林館	昭和31年	昭和30年検定済
沼野井春雄 編	高等学校 生物	好学社	昭和31年	昭和30年検定済
内田亨・大槻虎男・杉靖三郎ほか	高等学校 生物	中山書店	昭和31年	昭和30年検定済
岡田要 監修	生物	開隆堂	昭和30年	昭和30年検定済
下泉重吉	生物	大原出版	昭和30年	昭和30年検定済
川村智治郎・橋岡信一	高等学校の科学 生物	修文館	昭和31年	昭和30年検定済

昭和31年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
川村智次郎・橋岡信一	高等学校 理科	修文館	昭和33年	昭和33年検定済
沼野井春雄 編	新版 高等学校 生物	好学社	昭和37年	昭和33年検定済
三輪知雄・丘英通	標準 生物	三省堂	昭和31年	昭和31年検定済
市川純彦・印東弘玄・内田亨ほか	高等学校 生物	中山書店	昭和33年	昭和31年検定済

昭和35年版

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
服部静夫・藤井隆・林孝三ほか	生物	東京書籍	昭和37年	昭和37年検定済
篠遠善人・森脇大五郎 監修	新版 生物	中教	昭和37年	昭和37年検定済
岡田要・芦田謙治 監修	生物	開隆堂	昭和37年	昭和37年検定済
本田正次・石田寿老ほか	新編 生物 最新版	清水書院	昭和42年	昭和41年検定済
本田正次・石田寿老ほか	科学の世界 生物 改訂版	清水書院	昭和42年	昭和41年改訂検定済
井上清恒・北村四郎・湯浅明ほか	生物	実教出版	昭和38年	昭和37年検定済
川村智次郎・橋岡信一	生物	修文館	昭和38年	昭和38年検定済
三輪知雄・丘英通	標準 生物 三訂版	三省堂	昭和45年	昭和44年改訂検定済
篠遠善人 監修	新版 生物	教育出版	昭和41年	昭和41年検定済
井坂三郎・倉沢秀夫・田崎忠良ほか	改訂 高校 生物	大原出版	昭和41年	昭和41年検定済
大槻虎男 編	再訂 高校新理科 生物	啓林館	昭和44年	昭和44年改訂検定済
木原均・久米又三・岡徹・荒木忠雄	標準 高等生物 改訂版	講談社	昭和46年	昭和45年改訂検定済

昭和45年版

生物I

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
蛭谷米司・田中隆荘・田中昭男	生物I	第一学習社	昭和48年	昭和47年検定済
末廣恭雄ほか	高等学校 生物I	学校図書	昭和54年	昭和53年改訂検定済
藤井隆・林孝三ほか	改訂 生物I	東京書籍	昭和54年	昭和53年改訂検定済
植田利喜造ほか	図説 生物I	実教出版	昭和51年	昭和50年検定済
三輪知雄・丘英通・渡辺格ほか	生物I	三省堂	昭和48年	昭和47年検定済
関口晃一ほか	生物I	数研出版	昭和50年	昭和47年検定済
木下治雄ほか	生物I	大日本図書	昭和48年	昭和50年改訂検定済
今堀宏三・太田次郎・丸山工作 編	改訂 生物I	啓林館	昭和56年	昭和48年検定済

生物II

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
田中信徳・田中隆荘ほか	生物II	第一学習社	昭和52年	昭和48年検定済
藤井隆・林孝三ほか	新訂 生物II	東京書籍	昭和54年	昭和51年改訂検定済
今堀宏三・太田次郎・丸山工作 編	生物II	啓林館	昭和49年	昭和48年検定済
末廣恭雄ほか	高等学校 生物II 改訂版	学校図書	昭和55年	昭和52年改訂検定済
井上清恒・紺野邦央・広井敏男ほか	生物II	実教出版	昭和48年	昭和48年検定済
関口晃一ほか	高等学校 生物II	数研出版	昭和50年	昭和48年検定済
木下治雄ほか	生物II	大日本図書	昭和49年	昭和48年検定済

昭和53年版

理科I

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
田中隆荘・田中昭男ほか	高等学校 理科I	第一学習社	昭和58年	昭和56年検定済
渡部景隆ほか	高等学校 新選理科I	第一学習社	昭和62年	昭和59年検定済
山村等ほか	高等学校図解理科I 生物・化学編	第一学習社	平成2年	昭和62年検定済
渡部景隆ほか	高等学校 総合理科I	第一学習社	昭和57年	昭和56年検定済
山村等ほか	高等学校 改訂 新理科I	第一学習社	昭和62年	昭和59年検定済
渡辺正雄・太田次郎 編	高等学校 新編 理科I	啓林館	昭和56年	昭和56年検定済
岡本道雄・山本常信 編	高等学校 理科I	啓林館	昭和58年	昭和56年検定済
太田次郎・山崎和夫ほか 編	高等学校 新理科I	啓林館	平成元年	昭和62年検定済
稲本直樹・富永五郎・福島直ほか	理科I	開隆堂	昭和56年	昭和56年検定済
稲本直樹・富永五郎・福島直ほか	新・理科I 地球・生命編	開隆堂	昭和59年	昭和59年検定済
三輪知雄・市川正巳・中村純二ほか	高校 理科I	三省堂	昭和57年	昭和56年検定済
毛利秀雄・阿部龍蔵ほか	理科I 生物・化学編	三省堂	昭和61年	昭和60年検定済
市川正巳・中村純二ほか	明解 理科I	三省堂	昭和63年	昭和62年検定済
渡辺格・毛利秀雄・草薙昭雄ほか	新理科I 生物・地学編	三省堂	平成2年	昭和62年検定済
木村達明ほか	自然界のしくみ 理科I 新訂版	清水書院	昭和62年	昭和59年改訂検定済
森川久雄ほか	探求の科学図解 理科I 新訂版	清水書院	昭和62年	昭和59年改訂検定済
福田信之ほか	精選 理科I 改訂版 生命と地球	大原出版	昭和62年	昭和59年改訂検定済
福田信之ほか	理科I 改訂版	大原出版	昭和62年	昭和59年改訂検定済
福田信之ほか	高校 理科I	大原出版	昭和57年	昭和56年検定済
北川修・鮫島輝彦・鐸木啓三ほか	新・理科I 生物・化学編	大原出版	平成2年	昭和62年検定済
近角聡信ほか	精選理科I 総合編	東京書籍	昭和62年	昭和59年検定済
近角聡信・水野丈夫ほか	高校理科I	東京書籍	平成2年	昭和62年検定済

理科 I 続き

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
近角聡信・水野丈夫ほか	理科 I 生命・地球編	東京書籍	平成 2 年	昭和 62 年検定済
近角聡信・水野丈夫ほか	新選理科 I 総合編	東京書籍	平成 2 年	昭和 62 年検定済
戸田盛和ほか	理科 I	大日本図書	昭和 57 年	昭和 56 年検定済
戸田盛和ほか	高等学校 理科 I 生物・化学編	大日本図書	昭和 62 年	昭和 59 年検定済
戸田盛和ほか	高校新理科 I	大日本図書	平成 2 年	昭和 62 年検定済
和達清夫	理科 I	教育出版	昭和 61 年	昭和 56 年検定済
和達清夫	新理科 I 総合編	教育出版	平成 2 年	昭和 62 年検定済
力武常次ほか	高等学校 理科 I	数研出版	昭和 56 年	昭和 56 年検定済
楠川絢一・野村祐次郎・大羽滋ほか	理科 I 改訂版	実教出版	昭和 60 年	昭和 59 年改訂検定済
大羽滋・奈須紀幸・楠川絢一ほか	新理科 I 物質・生命編	実教出版	平成 2 年	昭和 62 年改訂検定済
井口洋夫	高校理科 I 改訂版	実教出版	昭和 62 年	昭和 59 年改訂検定済
霜田光一・沼田真ほか	高等学校 理科 I 生物・化学編	学校図書	昭和 62 年	昭和 59 年検定済
霜田光一・沼田真ほか	新編 理科 I	学校図書	昭和 62 年	昭和 59 年検定済

生物

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
江原有信・千原光雄ほか	生物	大原出版	昭和 58 年	昭和 57 年検定済
秋野美樹・吾妻完一・伊野良夫ほか	新・生物	大原出版	平成 2 年	昭和 62 年検定済
沼田真・日高敏隆ほか	高等学校 生物 再訂版	学校図書	昭和 63 年	昭和 63 年改訂検定済
中山伊佐男・村杉幸子・広井敏男ほか	生物 改訂版	実教出版	昭和 61 年	昭和 60 年改訂検定済
渡辺格ほか	図説 高校 生物 改訂版	三省堂	昭和 62 年	昭和 61 年改訂検定済
市村俊英・岡田益吉・藤伊正ほか	詳説生物	三省堂	昭和 64 年	昭和 63 年検定済
関口晃一ほか	改訂版 高等学校 生物	数研出版	昭和 62 年	昭和 60 年検定済
田中信徳・田中隆荘・田中昭男ほか	高等学校 改訂 生物	第一学習社	昭和 61 年	昭和 60 年検定済
今堀宏三・太田次郎・丸山耕作 編	高等学校 生物 新訂版	啓林館	昭和 63 年	昭和 63 年改訂検定済
西澤一俊ほか	最新 生物 生命の探求	教育出版	昭和 63 年	昭和 63 年検定済
菅原浩	高等学校 生物 三訂版	清水書院	昭和 64 年	昭和 63 年改訂検定済

平成元年版

生物 I B

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
石原勝敏・庄野邦彦ほか	生物 I B	実教出版	平成 6 年	平成 5 年検定済
水野丈夫・田沢仁・原襄・石川統ほか	生物 I B	東京書籍	平成 6 年	平成 5 年検定済
太田次郎・丸山耕作 編	高等学校 標準 生物 I B	啓林館	平成 5 年	平成 5 年検定済
太田次郎・丸山耕作 編	高等学校 生物 I B	啓林館	平成 5 年	平成 5 年検定済
川島誠一郎・佐藤七郎・佐原雄二ほか	高等学校 生物 I B	数研出版	平成 6 年	平成 5 年検定済
黒岩常祥ほか	新編 生物 I B	数研出版	平成 6 年	平成 5 年検定済
高橋景一ほか	生物 I B	大日本図書	平成 6 年	平成 5 年検定済
渡辺格ほか	生物 I B	三省堂	平成 6 年	平成 5 年検定済
市村俊英・根本和成ほか	詳説 生物 I B	三省堂	平成 7 年	平成 6 年検定済
田中隆荘ほか	高等学校 生物 I B	第一学習社	平成 7 年	平成 6 年検定済
沼田真・日高敏隆	高等学校 生物 I B	学校図書	平成 6 年	平成 6 年検定済
宮脇昭ほか	生物 I B	教育出版	平成 7 年	平成 6 年検定済

生物Ⅱ

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
田中隆荘ほか	高等学校 生物Ⅱ	第一学習社	平成7年	平成6年検定済
石原勝敏・庄野邦彦ほか	生物Ⅱ	実教出版	平成7年	平成6年検定済
渡辺格ほか	生物Ⅱ	三省堂	平成7年	平成6年検定済
市村俊英・根本和成ほか	詳説 生物Ⅱ	三省堂	平成7年	平成6年検定済
川島誠一郎・佐藤七郎・佐原雄二ほか	高等学校 生物Ⅱ	数研出版	平成7年	平成6年検定済
太田次郎・丸山耕作 編	高等学校 生物Ⅱ	啓林館	平成6年	平成6年検定済
水野丈夫・石川統・岩槻邦夫ほか	生物Ⅱ	東京書籍	平成7年	平成6年検定済
高橋景一ほか	生物Ⅱ	大日本図書	平成7年	平成6年検定済

平成11年版

生物Ⅰ

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
石原勝敏・庄野邦彦ほか	新版 生物Ⅰ	実教出版	平成15年	平成14年検定済
石川統ほか	生物Ⅰ	東京書籍	平成15年	平成15年検定済
太田次郎・本川達雄ほか	高等学校 生物Ⅰ	啓林館	平成15年	平成14年検定済
川島誠一郎ほか	高等学校 生物Ⅰ	数研出版	平成15年	平成14年検定済
高橋景一ほか	生物Ⅰ	大日本図書	平成15年	平成14年検定済
毛利秀雄ほか	高等学校 生物Ⅰ	三省堂	平成15年	平成15年検定済
田中隆荘ほか	高等学校 生物Ⅰ	第一学習社	平成15年	平成14年検定済
堀田凱樹ほか	生命の探求 生物Ⅰ	教育出版	平成15年	平成15年検定済

生物Ⅱ

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
田中隆荘ほか	高等学校 生物Ⅱ	第一学習社	平成16年	平成15年検定済
石原勝敏・庄野邦彦ほか	新版 生物Ⅱ	実教出版	平成16年	平成15年検定済
堀田凱樹ほか	生命の探求 生物Ⅱ	教育出版	平成16年	平成15年検定済
毛利秀雄ほか	高等学校 生物Ⅱ	三省堂	平成16年	平成15年検定済
川島誠一郎ほか	高等学校 生物Ⅱ	数研出版	平成16年	平成15年検定済
太田次郎・本川達雄ほか	高等学校 生物Ⅱ	啓林館	平成16年	平成16年検定済
石川統ほか	生物Ⅱ	東京書籍	平成16年	平成15年検定済
高橋景一ほか	生物Ⅱ	大日本図書	平成16年	平成15年検定済

理科総合B

著者	教科書名	出版社	発行年	備考
佐野博敏ほか	高等学校 理科総合B	第一学習社	平成16年	平成14年検定済
中村桂子・森本雅樹ほか	理科総合B	実教出版	平成16年	平成14年検定済
熊澤峰夫ほか	理科総合B 生命と地球環境	教育出版	平成16年	平成14年検定済
毛利秀雄・平朝彦・中西克爾ほか	理科総合B	三省堂	平成16年	平成14年検定済
丸山茂徳ほか	理科総合B 生物と自然環境 のサイエンス	数研出版	平成16年	平成14年検定済
太田次郎・山崎和夫 編	高等学校 理科総合B 生命と地球	啓林館	平成16年	平成14年検定済
長倉三郎・梶田叡一・松井孝典ほか	理科総合B 歴史としてみる自然	東京書籍	平成16年	平成14年検定済
高橋景一ほか	理科総合B	大日本図書	平成16年	平成14年検定済

第 二 部

シダ植物の教材としての特性

第 一 章

シダ植物の生殖細胞に関する細胞学的特徴

第一節 目的

シダ植物の精子は、造精器を水に浸すという簡単な操作によって得ることができるうえ、ルーペなどの低倍率でも観察が可能である。また、精子は水中を泳ぎ、植物の精子が発見されて以来、様々な種で形態観察が行われてきた。一方で、シダ植物の卵細胞は、前葉体から頸部が突出した造卵器の基部に形成され、その位置を容易に確認することができる。また、卵細胞は数層の細胞でしか覆われていないため、切片の作製も容易に行うことができる。そのため、様々な種で形態観察が行われてきた。観察技術が発達してきたことにより、それまで研究が困難であった被子植物の雌性生殖細胞に関するメカニズム解析の研究が数多く行われるようになった。しかし、シダ植物についての受精のメカニズムは未だ明らかになっていない。

シダ植物の雄性生殖細胞や雌性生殖細胞に関する形態学的観察は古くから多く見られるが、DNA や RNA、タンパク質の細胞内局在についての研究は少ない。そこで、本研究では DNA や RNA などに特異的に結合する蛍光プローブを用いた染色を行い、精子および卵細胞の形態と比較することで DNA や RNA などのタンパク質の細胞内局在の観察を行い、精子および卵細胞の細胞学的な特徴を調べた。

第二節 雄性生殖細胞の形態および細胞学的特徴

I. 材料および方法

①材料

本研究では、広島大学構内（広島県東広島市鏡山）で採集したワラビ (*Pteridium aquilinum* (L.)) を用いた。実験に用いた前葉体は、採集した胞子を 0.2 % 次亜塩素酸ナトリウム水溶液で約 3 分間滅菌し、ペトリ皿内の MS 寒天培地（寒天 0.6 %、pH5.8）に播種した後、パラフィルムで封入し、人工気象器（ 25 ± 1 °C、1,000 ~ 2,000lx、暗期 8 時間）で約 2 ヶ月培養し、造精器を得た。胞子の滅菌以降の作業は無菌状態で行った。採集した胞子は冷蔵庫（4 °C）で保存した。造精器は胞子を播いてから約 1.5 ヶ月で成熟するため、胞子を蒔いてから約 2 ヶ月経過した前葉体を材料として用いた。

②形態観察

造精器が成熟した前葉体を小型ペトリ皿にとり、蒸留水に浸して精子を放出させた。この精子懸濁液をパスツールピペットを用いてホールスライドガラスに取り、透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡下で観察した。

③蛍光観察

精子が成熟した前葉体を小型ペトリ皿に取り、蛍光プローブを適量に調整した MES buffer に浸して精子を放出させた。この精子懸濁液をパスツールピペットを用いてホールスライドガラスに取り、蛍光プローブの自家蛍光を抑えるために、数滴の MES buffer を加

えて蛍光プローブの濃度を低下させた後、透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡および落射蛍光顕微鏡下で観察した。

精子の生存を調べるために fuluorescein diacetate (以下 FDA と記す) を使用した。

FDA の染色液は、FDA をアセトンで 2 mg / ml に溶解したものを保存液として、これを MES buffer で 5 μ g / ml に希釈して調整した。FDA は B 励起光下で黄色の蛍光を発して細胞質の生理活性を示すため、本実験では、黄色の蛍光を発する細胞は生理活性を持つ生き細胞であると見なした。

DNA の存在および局在を調べるために 4'6-diamidino-2-phenylindole (以下 DAPI と記す) を、DNA 及び RNA の存在および局在を調べるために Acridine Orange (以下 AO と記す) を使用した。

DAPI の染色液は、DAPI を Tris buffer で 100 μ g / ml に溶解して調整したものを保存液として、これを Tris buffer で 5 μ g / ml に希釈して調整した。DAPI は DNA の A-T ペアにイオン結合し、UV 励起光下で青白い蛍光を発するため、本実験では、青白い蛍光を発する部分には DNA が局在しているものと見なした。

AO の染色液は、AO を McIlvaine buffer で 100 μ g / ml に溶解したものを保存液として、これを MES buffer で 3 μ g / ml に希釈して調整した。AO は DNA および RNA の二重鎖部分には intercalation により結合し、単鎖部分には sticking により結合して、UV 励起光下で単鎖部分が赤色の蛍光を、B 励起光下で二重鎖部分が黄緑色の蛍光を発するため、本実験では、赤色の蛍光を発する部分には RNA が、黄緑色の蛍光を発する部分には DNA が局在しているものと見なした。

ミトコンドリアの存在および局在を調べるために Rhodamine123 (以下 R123 と記す) を使用した。R123 の染色液は R123 を Tris buffer で 100 μ g / ml に溶解したものを保存液として、これを Tris buffer で 10 μ g / ml に希釈して調整した。R123 は呼吸基質に特異的に結合し、B 励起光下で黄緑色の蛍光を発するため、本実験では、黄緑色の蛍光が発する部分には呼吸基質が多いミトコンドリアが局在しているものと見なした。

以上の蛍光プローブの染色時間は、すべて 15 分とした。

II. 結果

①形態観察

成熟した造精器は、葉緑体を持たない蓋細胞・環細胞・底細胞から構成され、その内部には精細胞が形成されていた (Fig.3A)。この成熟した造精器を蒸留水に浸すと、上部の蓋細胞が開き、内部の精細胞が水中へ放出された。放出された精細胞は、しばらくすると膜が破れ、精子が水中へと泳ぎ出た。精子は、核であるポータープリムの大きさが約 10 μ m で、2～3回の螺旋を巻いていた。ポータープリムは進行方向側が太くなっていた。また、進行方向側には、長さ約 15 μ m の繊毛が十数本あり、その反対側には直径約 15 μ m の細胞質球が存在した。細胞質球の中には数個の顆粒があり、そのほとんどがブラウン運動を行っていた (Fig.3B)。

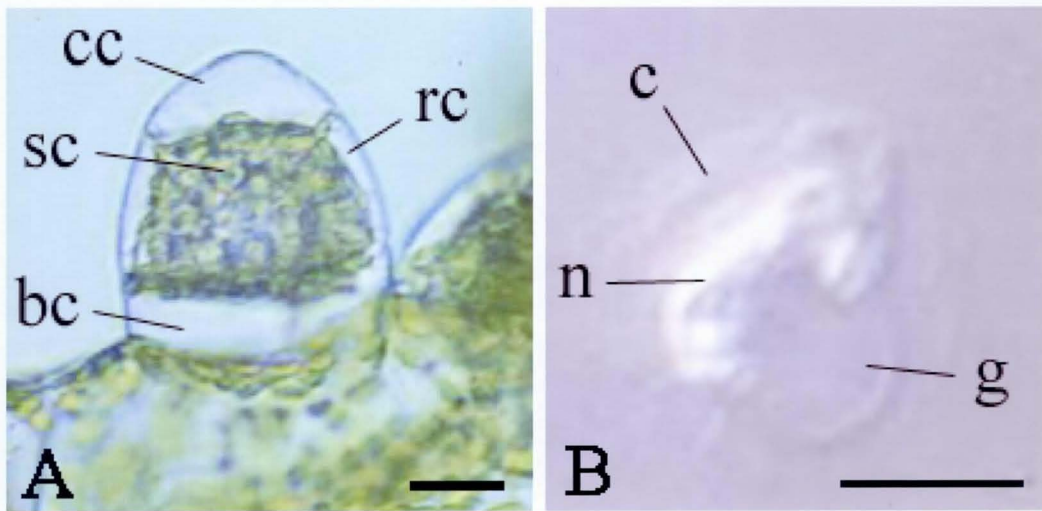


Fig.3 ワラビの有性生殖器官（造精器）と有性生殖細胞（精子）

A：精細胞が成熟した造精器 B：水中に放出された精子

cc：蓋細胞 sc：精細胞 bc：底細胞 rc：環細胞

n：核 c：繊毛 g：細胞質球

bar = 10 μ m

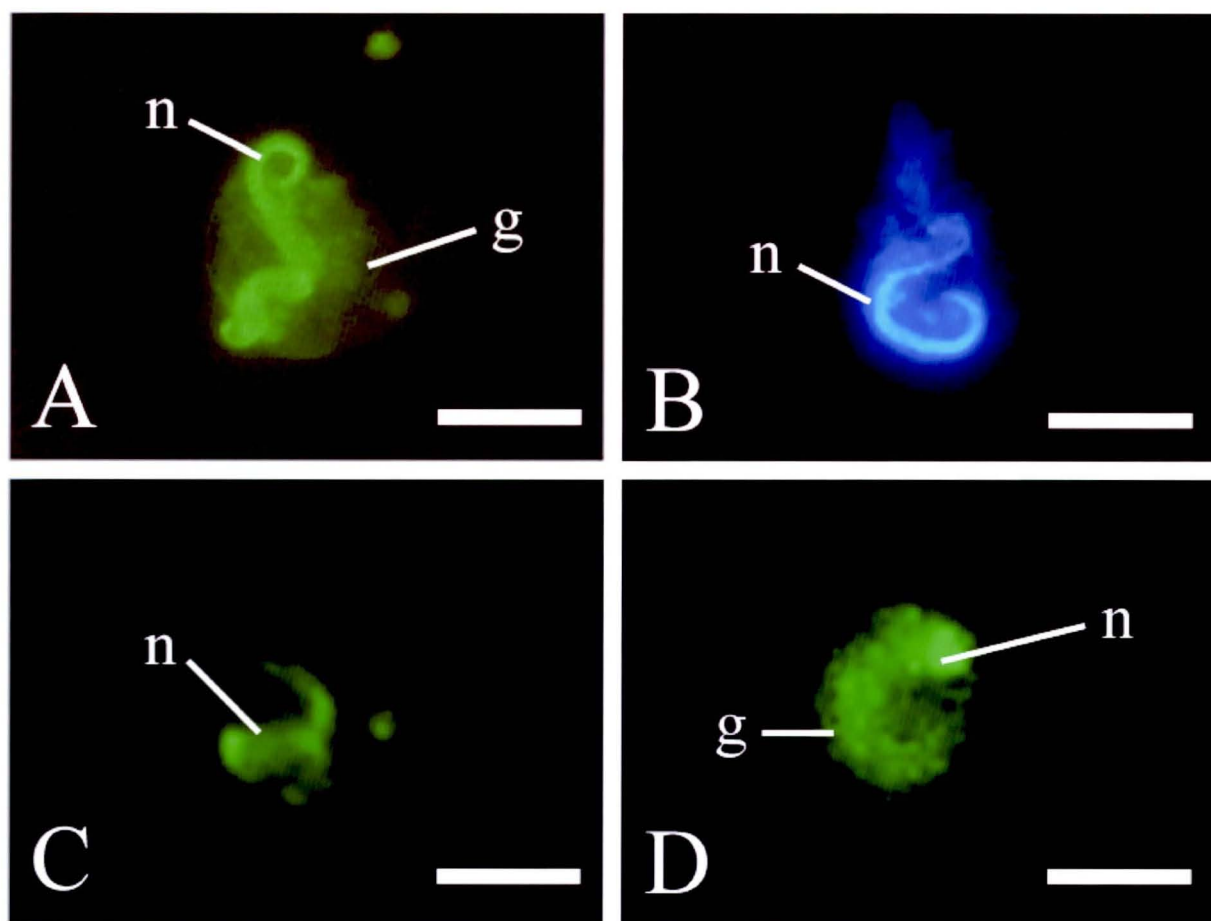


Fig.4 蛍光染色したワラビの精子

A : FDA 染色

B : DAPI 染色

C : AO 染色

D : R123 染色

n : 核

g : 細胞質球

bar = 10 μ m

②精子の蛍光観察

精子の生理活性を確認するために FDA で蛍光呈色反応（以下 FCR と記す）を調べた結果、ポータープリムの周囲と細胞質球から弱いながらも黄色の蛍光が見られ、陽性を示した。それ以外の部分からは蛍光が見られず陰性を示した（Fig.4A）。

DNA の A-T ペアに特異的に結合する DAPI で染色した結果、核である螺旋状のポータープリム全体から蛍光が見られ、陽性を示した。それ以外の部分からは蛍光が見られず陰性を示した（Fig.4B）。

DNA と RNA の二重鎖部分に挿入され、単鎖部分には重合結合する AO で染色した結果、DAPI の時と同様に、核である螺旋状のポータープリム全体から蛍光が見られ、陽性を示し、それ以外の部分からは蛍光が見られず陰性を示した（Fig.4C）。

呼吸基質に結合する Rhodamine123 で染色したところ、繊毛の根本付近と細胞質球内の顆粒から、弱いながらも黄色の蛍光が見られ陽性を示した（Fig.4D）。この陽性反応は活動している精子に見られ、活動が停止した精子からは見られなかった。

第三節 雌性生殖細胞の形態および細胞学的特徴

I. 材料および方法

①材料

本研究では、広島大学構内（広島県東広島市鏡山）で採集したワラビ（*Pteridium aquilinum* (L.)) を用いた。実験に用いた前葉体は、採集した胞子を 0.2 % 次亜塩素酸ナトリウム水溶液で約 3 分間滅菌し、ペトリ皿内の MS 寒天培地（寒天 0.6 %、pH5.8）に播種した後、パラフィルムで封入し、人工気象器（ $25 \pm 1^\circ\text{C}$ 、1,000 ~ 2,000lx、暗期 8 時間）で約 2 ヶ月培養し、造卵器を得た。胞子の滅菌以降の作業は無菌状態で行った。採集した胞子は冷蔵庫（ 4°C ）で保存した。造卵器は胞子を播いてから約 1.5 ヶ月で成熟するため、胞子を播いてから約 2 ヶ月経過した前葉体を材料として用いた。

②前葉体の切片における卵細胞の形態観察

造卵器が成熟した前葉体を取り出し、実体顕微鏡下で造卵器が形成された部分を挟み込むように剃刀でできるだけ薄く切り取り、切片を作製した。この切片を蒸留水で封入してプレパラートを作製し、透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡下で観察した。さらに、カルノア液（エタノール：クロロフォルム：酢酸 = 6 : 2 : 1）で 2 時間固定した切片も作製し、固定した試料の観察も行った。

③卵細胞の単離

造卵器をつけた前葉体のクッション部を酵素液が浸透しやすいように剃刀でスライスし、メンブレンフィルターで滅菌した酵素液（2 % Cellulase "Onozuka" RS、1 % Macerozyme R-10、0.5 M MES buffer）が約 2.5 ml 入ったペトリ皿（ ϕ 30 mm）に移した。このペトリ皿をパラフィルムで密封した後、恒温振盪器に入れて、酵素処理（100 rpm、 $30 \pm 3^\circ\text{C}$ 、3 h

ours) を行った。酵素処理後、処理した試料を酵素液ごと遠沈管に移して遠心分離 (約6,000 g、3 min) を行い、上澄である酵素液をパスツールピペットで除き、0.5 M MES buffer を加えて再度遠心分離を行った。この操作を3回行って卵細胞を洗浄し、最終的に1 ml の0.5 M PMEG buffer に懸濁した。この懸濁液をプロトプラスト懸濁液とした。

このプロトプラスト懸濁液をパスツールピペットで1~2滴、ポリリジン溶液を乾燥させたカバーガラスであるポリリジンプレート上に滴下し、20~30分静置してプロトプラストをプレートに接着させた。接着しなかったプロトプラストはPMEG溶液で洗い流した。以下の実験では、このプレートに接着したものを材料として使用した。

④卵細胞プロトプラストの染色

卵細胞の生存を調べるためにFDAを使用した。FDAの染色液の調整と結果の判断は、精子の観察と同様に行った。

DNAの存在および局在を調べるためにDAPI、Propidium Iodide (以下PIと記す) をDNA及びRNAの存在および局在を調べるためにAO、Ethidium Bromide (以下EtBrと記す) を使用した。

DAPIとAOの染色液の調整と結果の判断は、精子の観察と同様に行った。

PIの染色液は、PIをTris bufferで100 μ g/mlに溶解して調整したものを保存液として、これをTris bufferで5 μ g/mlに希釈して調整した。PIはDNAとRNAに結合し、G励起光下で赤い蛍光を発するため、本実験では、赤い蛍光を発する部分にはDNAおよびRNAが局在しているものと見なした。

EtBrの染色液は、EtBrをTris bufferで100 μ g/mlに溶解して調整したものを保存液とし、これをTris bufferで5 μ g/mlに希釈して調整した。EtBrはDNAとRNAに結合し、G励起光下で赤い蛍光を発するため、本実験では、赤い蛍光を発する部分にはDNAおよびRNAが局在しているものと見なした。

DAPIでは固定と界面処理をした卵細胞の染色も行った。固定は、酵素液を洗浄した後に0.5 Mに調製した固定液(3.7%ホルマリン溶液)を約5 ml加えて30分間静置し、その後、0.5 M PMEG bufferでプロトプラストの洗浄と同じ方法で再び洗浄した。界面処理はポリリジンプレート作成後、0.5 Mに調製したディタージェント溶液を滴下し、室温で約15分間界面処理した後に0.5M PBS bufferで洗浄を行った。

AO、EtBrではRNase処理をした卵細胞の染色も行った。染色前のポリリジンプレート上に0.1 mg/mlのRNAase溶液を100 μ l滴下し、1時間振盪(10 rpm、30 \pm 3 $^{\circ}$ C)した後に0.5 M PBS bufferで洗浄することで行った。

ミトコンドリアの存在および局在を調べるために3,3'-dihexyloxycarbocyanine Iodide (以下DiOC₆と記す)を使用した。DiOC₆の染色液はDiOC₆をHEAPESで50 ng/mlに溶解して調整したものを保存液として、これをTris bufferで5 ng/mlに希釈して調整した。DiOC₆は呼吸基質に特異的に結合し、B励起光下で黄緑色の蛍光を発するため、本実験では、黄緑色の蛍光を発する部分には呼吸基質が多いミトコンドリアが局在しているものと見なした。

単離した卵細胞の蛍光染色は、作製したポリリジンプレートにそれぞれの染色液を滴下することで行った。染色時間は、FDA、PI、AO、EtBr、DiOC₆を約15分、DAPIを約30分

とした。染色後は、0.5 M PBS buffer で洗浄し、落射蛍光顕微鏡で観察した。

比較として体細胞プロトプラストの染色も行った。生体染色には FDA、PI、DAPI、DiOC₆ を使用し、染色方法は卵細胞プロトプラストと同様の方法で行った。

II. 結果

①前葉体の切片における卵細胞の形態観察

造卵器は頸部が前葉体から突出していた (Fig.5A)。また、前葉体に埋没している部分は、卵細胞・腹溝細胞・ジャケット細胞から構成され、卵細胞はジャケット細胞により周りを包まれていた。卵細胞は、腹溝細胞に接している部分が内部にへこんでいたが、その形はほぼ円形であった。このへこみは固定した場合さらに顕著に現れ、その形は三日月形であった。卵細胞の大きさは直径 30 ~ 40 μm であった。固定した卵細胞も横幅は 30 ~ 40 μm で、生きた試料と同じであった。どちらの切片でも、ほとんどの卵細胞で、内部に直径 10 ~ 20 μm の核と直径約 3 μm の核小体を確認することができた。核はその輪郭がはっきりしなかったものの、その形は楕円形に近かった。核小体の形は円形であった (Fig.5B)。

②単離卵細胞の形態観察

単離した卵細胞プロトプラストは、ほとんどが無色の球形であったが、楕円球のものも一部見られた。直径は 30 ~ 40 μm あり、内部には不定形の核と球形の核小体が 1 ~ 2 個確認できた。核の直径は 10 ~ 20 μm 、核小体の直径は約 3 μm であった。これらの大きさは、切片で観察したものと同様であった (Fig.6A)。細胞質部分には、植物細胞に特有の葉緑体は見られなかったが、核の周辺部を中心に、多数の顆粒が見られ、これらはブラウン運動を行っていた。また、いくつかの卵細胞では細胞質に液胞が存在しているものもあった。体細胞プロトプラストは、無色のものと緑色の顆粒が存在するものがあった。大きさは、直径が 10 μm 未満のものから 100 μm 以上のものまで様々であったが、ほとんどは約 40 μm であった。無色の体細胞プロトプラストの内部は、細胞質が細胞膜に接した部分にわずかに確認できた。核は約 3 μm で、細胞質内に確認できた。細胞の中心部も含め、90 % 以上が液胞であった (Fig.6B)。緑色の顆粒も細胞膜付近に存在していた (Fig.6C)。

③単離卵細胞の蛍光観察

この単離した卵細胞の生理活性を確認するために FDA で蛍光呈色反応 (FCR) を調べた結果、卵細胞全体から黄緑色の強い蛍光が見られて陽性を示した (Fig.7A)。この蛍光反応は、卵細胞を単離してから約 5 時間まで確認できた。したがって、単離直後の卵細胞は、生理活性を保持していることが確認でき、生きた切片と同じ状態であることができる。また、体細胞プロトプラストでは、わずかにある細胞質から蛍光が見られて陽性を示したが、液胞からは蛍光が見られずに陰性を示した (Fig.7B)。

DAPI で卵細胞を生体染色した結果、細胞質の核周辺部の顆粒から強い蛍光が見られて

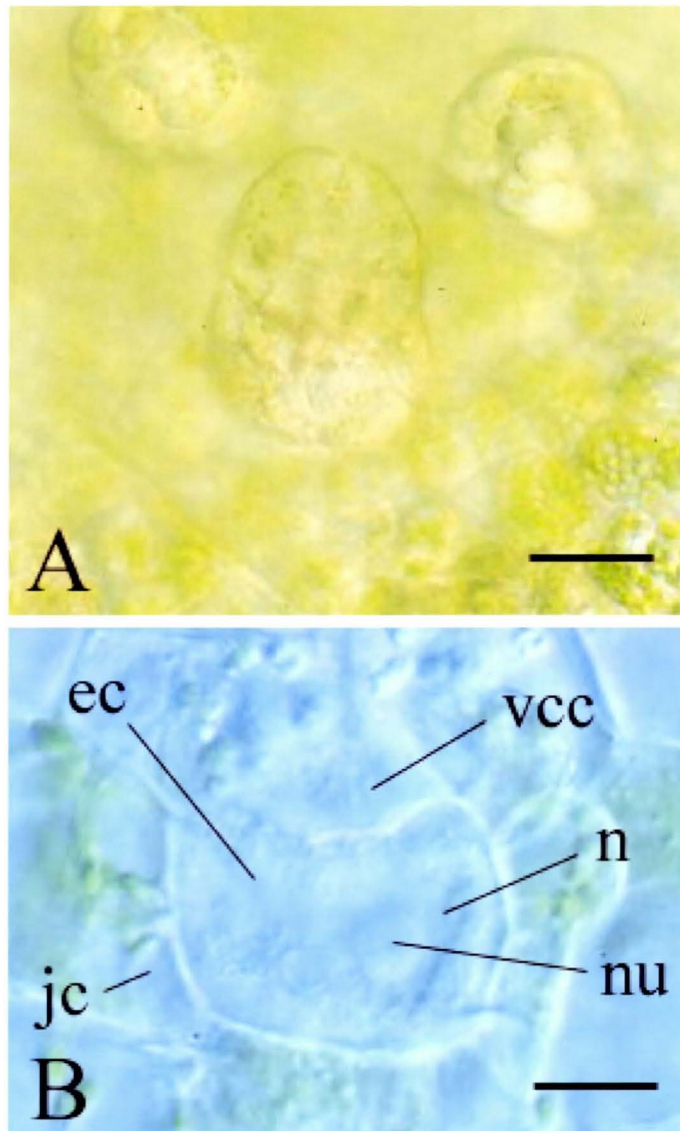


Fig.5 ワラビの有性生殖器官（造卵器）と有性生殖細胞（卵細胞）

A：前葉体から突き出た造精器の頸部

B：固定していない前葉体内の造卵器

ec：卵細胞

jc：ジャケット細胞

vcc：腹溝細胞

n：核

nu：核小体

bar = 20 μ m

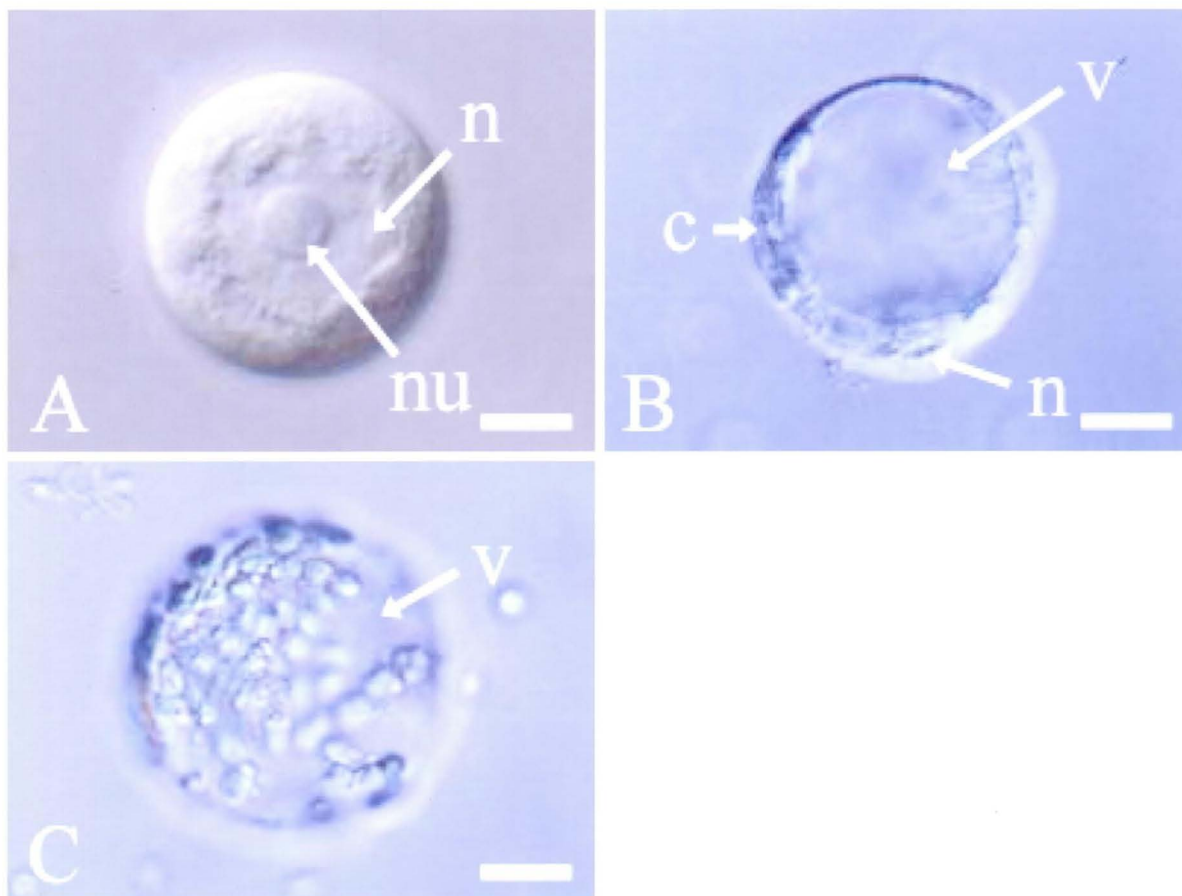


Fig.6 ワラビの単離した卵細胞と体細胞

A : 単離した卵細胞 B : 葉緑体のない単離した体細胞

C : 葉緑体を持つ単離した体細胞

n : 核 nu : 核小体 c : 細胞質基質

v : 液胞

bar = 10 μ m

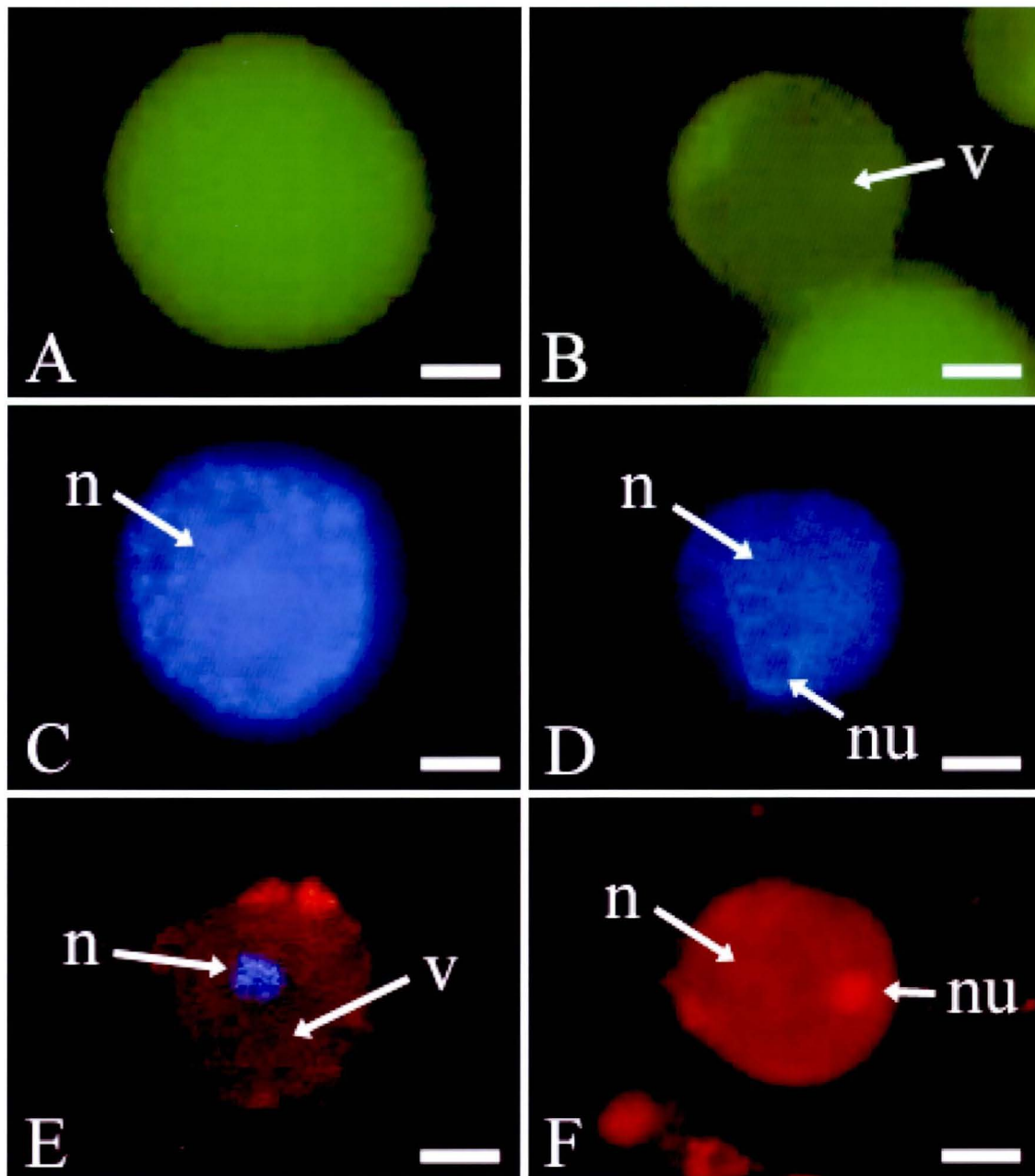


Fig.7 ワラビの単離した卵細胞と体細胞の蛍光染色

A : FDA で染色した卵細胞

B : FDA で染色した体細胞

C : DAPI で染色した卵細胞

D : DAPI で染色した固定した卵細胞

E : DAPI で染色した体細胞

F : PI で染色した固定した卵細胞

n : 核

nu : 核小体

v : 液胞

bar = 10 μ m

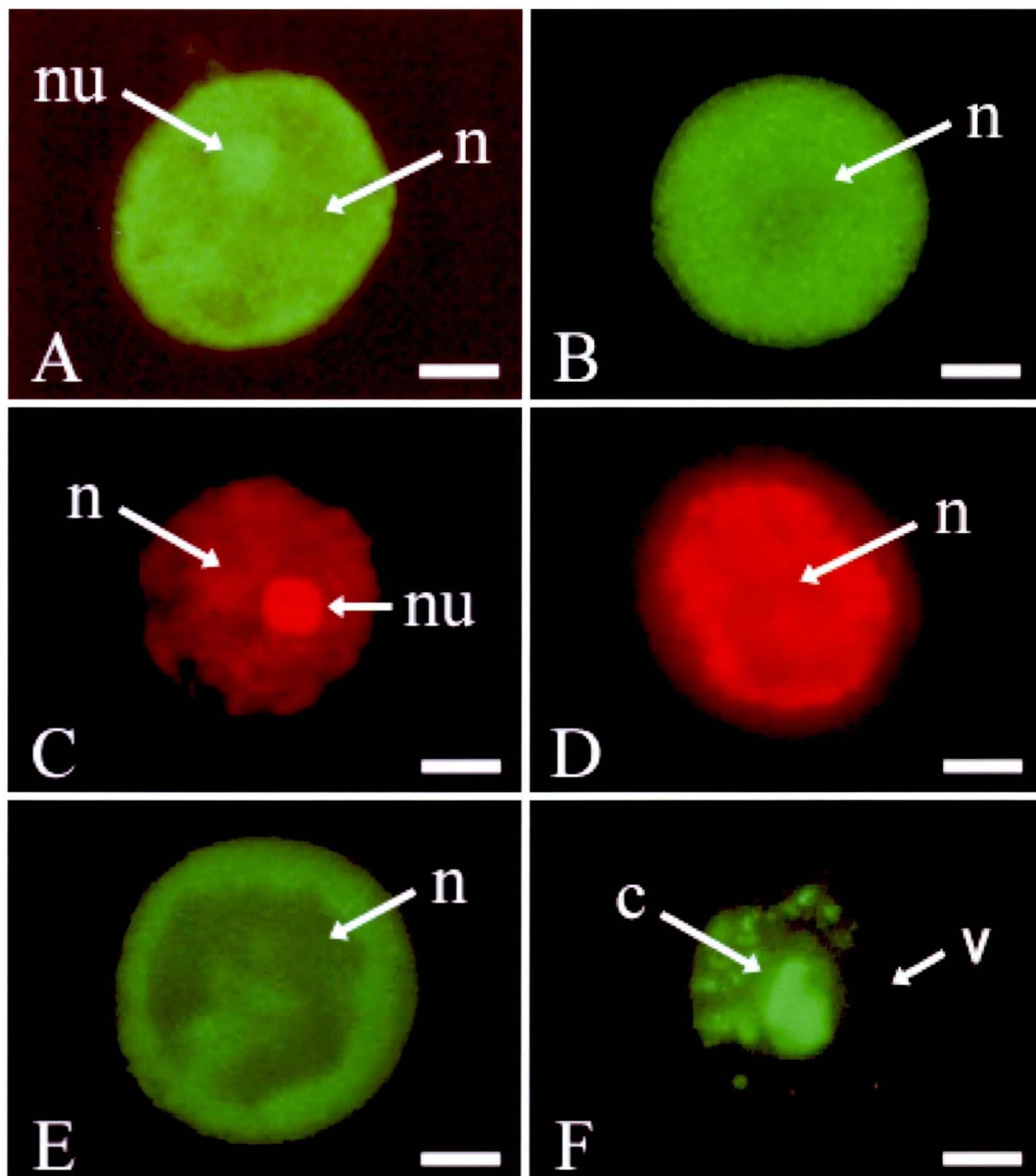


Fig.8 ワラビの単離した卵細胞と体細胞の蛍光染色

A : AO で染色した卵細胞

B : AO で染色した RNase 処理した卵細胞

C : EtBr で染色した卵細胞

D : EtBr で染色した RNase 処理した卵細胞

E : DiOC₆ で染色した卵細胞

F : DiOC₆ で染色した体細胞

n : 核

nu : 核小体

v : 液胞

bar = 10 μ m

陽性を示し、核・核小体・細胞質からは蛍光が見られず陰性を示した (Fig.7C)。これに対し、固定と界面処理を行った場合、核から蛍光が見られて陽性を示したが、核小体・細胞質・顆粒からは蛍光が見られず陰性を示した (Fig.7D)。体細胞を染色した結果、核から蛍光が見られて陽性を示した。また、細胞内の緑色の顆粒からは赤い蛍光が見られた (Fig.7E)。体細胞の核の蛍光は卵細胞の核の蛍光よりも強く反応していた。

PI で生体染色した結果、細胞質と核小体から蛍光が見られて陽性を示した。特に核小体から強い蛍光が見られたが、核からは蛍光は見られなかった (Fig.7F)。

AO で生体染色した結果、核の部分からは蛍光が見られずに陰性を示したものの、核小体と細胞質から蛍光が見られ、陽性を示した (Fig.8A)。また、RNase 処理を行った場合、細胞質から強い蛍光が見られて陽性を示し、核からは蛍光が見られず、陰性を示した。しかし、核小体からの蛍光が見られなくなり、陰性を示すようになっていた (Fig.8B)。

EtBr で生体染色した結果、PI や AO と同様に細胞質と核小体から蛍光が見られて陽性を示した。特に核小体から強い蛍光が見られたが、核からは蛍光は見られなかった (Fig.8C)。また、RNase 処理を行った場合、核周辺部の顆粒から蛍光が見られて陽性を示した。一方で、細胞質と核小体からの蛍光は見られなくなり、陰性を示すようになった。この場合も核から蛍光は見られず陰性を示した (Fig.8D)。

DiOC₆ で生体染色した結果、細胞質にある顆粒から蛍光が見られ、陽性を示した。特に核周辺部に集中して蛍光が見られた。核・核小体および細胞質には蛍光が見られず陰性を示した (Fig.8E)。また、体細胞では、細胞質と顆粒から蛍光が見られて陽性を示したが、液胞からは蛍光が見られずに陰性を示した (Fig.8F)。

第四節 考察

精子を FDA で染色した結果、核の一部と細胞質球から、Rhodamine123 で染色した結果、精子のべん毛基部と細胞質球から陽性反応が見られた。シダ植物の精子にはミトコンドリアがあり、細胞質球の中には澱粉粒があるとされている (湯浅, 1972)。この結果より、ミトコンドリアはべん毛の基部と細胞質球内に存在し、シダ植物の精子のべん毛運動は、ミトコンドリアのエネルギーを利用していると考えられる。また、細胞質球には細胞質も含まれていることが分かる。これは、精子へ形態変化する前の細胞にあった細胞質の名残であると考えられる。

単離した卵細胞プロトプラストは、不定形の核が細胞の大部分を占め、体細胞の核とほぼ同じ大きさの核小体が存在した。また、FCR を調べた結果、卵細胞では細胞全体から、体細胞は一部分から蛍光が見られたことから、単離したプロトプラストは生理活性を保持していることが確認できた。さらに、FCR では液胞は陰性を示すため、体細胞で大部分を占めていた液胞が卵細胞にはなく、逆に卵細胞は細胞質に富んでいることが確認できた。この結果は、Watanabe (1995) のシシガシラの結果と一致した。また、核の形などの形態は切片による観察結果とも一致し、その内部にはゴルジ体やミトコンドリアも確認されている (Bell, 1964, Sigeo, 1971)。

プロトプラストを DAPI で生体染色した結果、卵細胞では、核からは蛍光が見られずに

陰性を示したのに対し、細胞質の顆粒から強い蛍光が見られた。体細胞では、核から蛍光が見られて陽性を示し、また、緑色の顆粒からは赤い自家蛍光が見られた。この自家蛍光は葉緑体で見られるため、赤い自家蛍光が見られなかった卵細胞には葉緑体は含まれていないと考えられる。また、DiOC₆ で生体染色した結果、細胞質にある顆粒から蛍光が見られたことから、細胞質内で陽性を示したオルガネラ DNA の蛍光はミトコンドリア DNA によるものであると判断できる。

これに対し、固定および界面処理を行なって DAPI 染色をした結果、卵細胞の核からも蛍光が見られて陽性を示した。卵細胞の核が DNA 陰性を示す理由としては、核酸の密度が低いことなどが挙げられている (Lee, 1955)。しかし、固定および界面処理を行った結果、核が陽性を示したことから、各処理を行ったことにより染色液が核内まで浸透できるようになったと考えられる。これは、生理活性を保ったワラビの卵細胞の核膜は染色液の透過性が低いことを示している。卵細胞の核の蛍光の強さが体細胞プロトプラストの核の蛍光よりも弱かったことは、Lee (1955) のイチヨウの結果とも一致し、ワラビも同様に核酸の密度に依存していると考えられる。実際、卵細胞の核の直径は体細胞の核の直径の約 3 倍あるため、体積では約 30 倍あることになる。DNA 量は同じであることから、卵細胞における DNA の密度は体細胞よりもかなり低いことになる。一方で、造卵器内における卵細胞は、固定した場合でも染色できなかった。これは、前葉体は水に接することが多く、また、細胞の層が薄いため、卵細胞の細胞膜における水の透過率が低くなって卵細胞が固定されず、その結果として蛍光プローブも卵細胞内に透過できなかったものと推測できる。

PI および EtBr で生体染色した結果、細胞質全体と核小体から蛍光が見られて陽性を示し、この 2 種類の染色液は同様の結果が得られた。RNA の核小体と細胞膜における存在は Bell (1963) や Jayasekera (1971) の結果とほぼ一致した。この核小体の蛍光は細胞質のものよりも強かったため、核小体の RNA 密度は細胞質よりも高いものと思われる。さらに、細胞質の蛍光は細胞質全体から見られ、細胞質内に一様に広がって存在しているものと思われる。また、この細胞質にある RNA は核周辺部で部分的に強く蛍光を発しているところがあり、ここで蛋白質の合成が行われていると思われる。RNase 処理を行うと、核周辺にある細胞質内の顆粒から蛍光が見られて陽性を示し、細胞質および核小体からは蛍光が見られずに陽性を示すという DAPI 染色と同様の結果が得られた。

DiOC₆ で生体染色した結果、核周辺部を中心に蛍光が見られて陽性を示した。この部分は DAPI の結果と同様であることから、DAPI の細胞質における反応はミトコンドリアであると判断でき、DNA は核と細胞質にあると報告した Bell (1963) の結果とほぼ一致した。また、ミトコンドリアは核周辺部を中心に分布していると考えられる。

本研究の生体染色の結果から、以下のことが新しく分かった。

ワラビの精子は、ヒトの精子と同様に精子本体と、それに加えて細胞質球にミトコンドリアを持ち、そのミトコンドリアからのエネルギーを利用してべん毛運動を行っている。このエネルギーの利用法も、水中を遊泳する場合は細胞質球から、造卵器に侵入した後は精子本体のミトコンドリアからエネルギーの供給を受けていると考えられる。

ワラビの卵細胞は、細胞膜・核膜ともに物質の透過性が低い。DNA 量は体細胞の核よりも核が大きいいため、細胞質にあるオルガネラ DNA 量の方が核内の DNA 量よりも多くな

っている。RNA は核小体と細胞質全体に存在し、蛋白質合成は核小体と核周辺部で行われている。特に核小体は細胞質よりも強い蛍光が見られたため、RNA が密になって存在しているものと考えられる。また、細胞質内のミトコンドリアは、核周辺部を中心に存在している。

本研究で観察できた卵細胞の特徴は、生理活性を保った卵細胞を用いて観察したため、卵細胞内の蛋白質やオルガネラの性質や形態が変化する可能性が低く、固定試料よりもより正確な情報を示している。したがって、卵細胞の特徴を直接的に示しているといえる。

第二章

シダ植物の受精

第一節 目的

シダ植物は進化系統的に重要で、生活環の単相世代と複相世代が独立して存在することや、形態観察が容易であることなどから、教材化に関する研究は古くから数多く行われてきた。その中で、シダ植物の受精の観察は、19世紀後半から行われてきている (Yuasa, 1937)。しかし、そのほとんどが固定試料を染色して断片的に観察したもので、生きた試料で継続的に観察したものは少ない。一方、最近の研究では、電子顕微鏡による観察 (Bell, 1975) (Bell & Duckett, 1976) (Fasciati *et. al.*, 1994) や、精子が造卵器に侵入するまでのビデオ撮影が行われている (Watanabe *et. al.*, 1994, 1998) もの、卵細胞内における精子の挙動を動的にとらえたものは見られない。

シダ植物の生殖細胞を扱う場合、精子は蒸留水、単離卵細胞は浸透圧が 0.5M ~ 0.7M の溶液が用いられるため、精子が活動するのに適した溶液濃度と、単離卵細胞の状態を維持するのに適した溶液濃度には差があり、両方を同時に扱うことは困難である。そのため、人工環境下で受精を観察するためには、両者が同時に同一の培地内で生理活性を有することが必要である。

そこで、生きた試料を用いて、造卵器内における精子の挙動の観察を試みた。また、浸透圧を変化させることにより、精子および単離した卵細胞にどのような影響があるかを調べた。さらに、人工条件下における受精が可能かどうかの検討も行った。

第二節 材料

本章の実験では、すべて広島大学構内 (広島県東広島市鏡山) で採集したワラビ (*Pteridium aquilinum* (L.)) を用いた。実験に用いた前葉体は、採集した胞子を 0.2% 次亜塩素酸ナトリウム溶液で約 3 分滅菌し、ペトリ皿内の MS 寒天培地 (寒天 0.6%, pH5.8) に播種した後、パラフィルムで封入し、人工気象器 (25 ± 1 °C、1,000 ~ 2,000lx、暗期 8 時間) で約 2 ヶ月培養し、造精器と造卵器を得た。胞子の滅菌以降の作業は無菌状態で行った。採集した胞子は冷蔵庫 (4 °C) で保存した。造精器と造卵器は、胞子を播いてから約 1.5 ヶ月で成熟するため、胞子を播いてから約 2 ヶ月経過した前葉体を材料として用いた。

第三節 造卵器内における受精

I. 方法

① 精子の侵入から造卵器腹部内までの観察

精子は、成熟した造精器をもつ前葉体を数枚、小型ペトリ皿に取り、滅菌水 (以下 D.W. と記す) に浸して精子を放出させ、精子懸濁液として用意した。

卵細胞は、成熟した造卵器をもつ前葉体を取り出し、実体顕微鏡下で頸口が開いていな

い造卵器を挟み込むように剃刀でできるだけ薄く切り取り、造卵器の切片を作製した。特に、片側は造卵器の根元に剃刀を入れ、造卵器腹部の断面から卵細胞が観察できるようにした。

この造卵器の切片を精子懸濁液で封入してプレパラートを作製し、透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡下で観察した。プレパラートは乾燥しないようにマニキュアで封をした。

②造卵器腹部内の観察

精子は、上と同様の方法で採取した精子懸濁液を用いた。

この精子懸濁液に、造卵器が成熟した前葉体を約 10 分浸し、その後、実体顕微鏡下で頸口が開いた造卵器部分を選択し、上記と同様の方法で切片を作製した。

この造卵器の切片を蒸留水で封入してプレパラートを作製し、透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡下で観察した。プレパラートは乾燥しないようにマニキュアで封をした。

II. 結果

造卵器 (Fig.9A) は、蒸留水に浸すと頸部が裂開し、精子誘引物質となる頸口細胞と腹溝細胞が外部に放出された (Fig.9B)。この物質は頸口付近にとどまり、離れることはなかった。精子はこの物質に正の走化性を示すため、頸部に引きつけられた。引きつけられた精子は頸口近くになると細胞質球をはずし、回転運動をしながら卵細胞内へ侵入した (Fig.9C)。その後、いくつかの精子が造卵器内へと侵入したが、最終的には多数の精子で頸口がつまり、蓋をする形となった (Fig.9D)。

造卵器内に侵入した精子は回転運動を続け、卵細胞とジャケット細胞の間隙に潜り込み (Fig.10A)、10 分ほど動き回った後、活動を停止した。他に数個の精子が腹溝細胞内に侵入したが、そのほとんどは卵細胞上部の空間で運動を続け、卵細胞まで到達する精子は 1 ~ 2 個であり、侵入した精子すべてが受精することはなかった (Fig.10B)。

本実験では、精子が卵細胞内へ侵入する場面を観察することはできなかったが、精子が卵細胞へ侵入し、卵細胞とジャケット細胞の間隙に侵入する過程を生きた状態で観察することができた。

受精が完了すると、受精卵には核と核小体が現れた。受精卵の核は受精前とは異なり、核膜がはっきりとした円形または楕円形であった。核の大きさは直径 10 ~ 20 μm 、核小体の大きさは直径約 3 μm と、受精前と比較しても大きな変化は見られなかった (Fig.10C)。

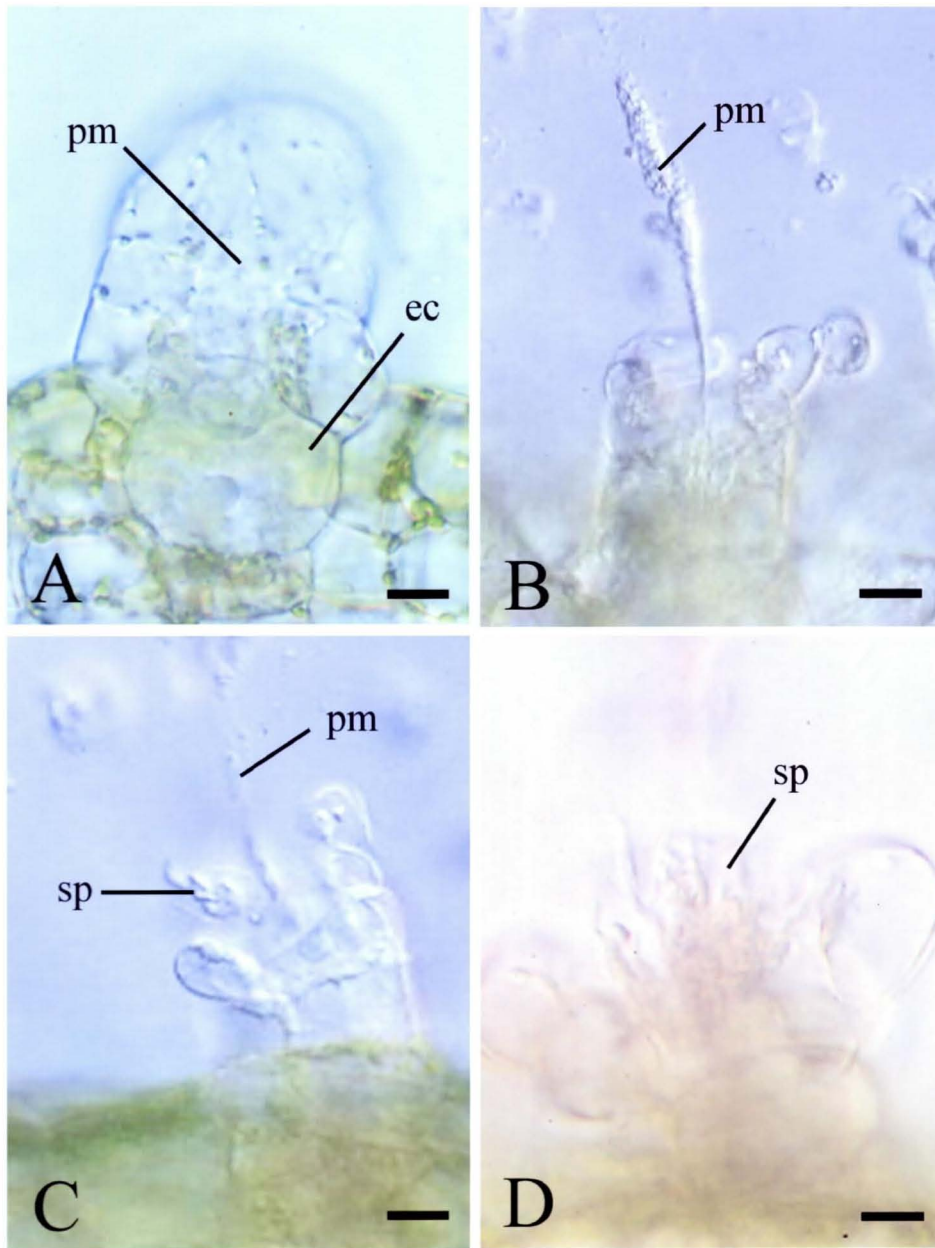


Fig. 9 ワラビの精子の造卵器への侵入過程

A : 卵細胞が成熟した造卵器の断面

B : 頸口部が開いた造卵器

C : 頸口部から造卵器内へ侵入する精子

D : 精子でいっぱいになった頸口部

ec : 卵細胞

sp : 精子

pm : 精子誘引物質

bar = 10 μ m

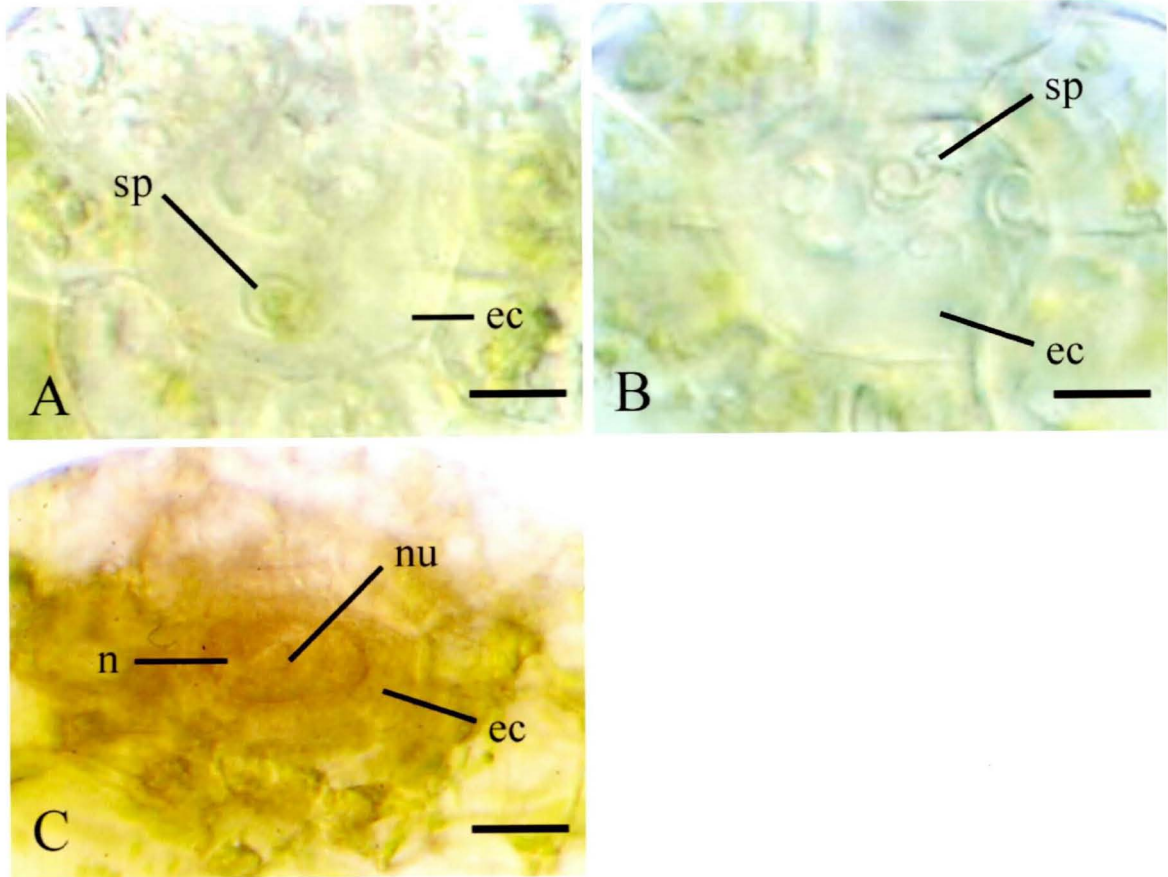


Fig. 10 造卵器に侵入したワラビの精子の挙動

A : 卵細胞部に侵入した精子

B : 腹溝細胞に侵入した多数の精子

C : 受精後の卵細胞

ec : 卵細胞

sp : 精子

n : 核

nu : 核小体

bar = 10 μ m

第四節 精子と卵細胞に及ぼす浸透圧の影響

I. 方法

①精子に対する影響

成熟した造精器を形成した前葉体を小型ペトリ皿に取り、Mannitol で 0.1 ~ 0.6M の浸透圧に調整した 1/10 MS 培地に浸し、処理してから 15 分後の精子の放出の様子とその運動性を実体顕微鏡で観察した。この時、100 倍の視野を 5 秒以内で横切る精子を運動能力の高い精子とし、400 倍の視野で 15 個以上精子があれば多量に放出されたと判断した。

②単離した卵細胞に対する影響

卵細胞は、形態観察の時と同様に、造卵器をつけた前葉体のクッション部を 10 枚分、酵素液が浸透しやすいように剃刀でスライスし、メンブレンフィルターで滅菌した酵素液 (2% Cellulase "Onozuka" RS, 1% Macerozyme R-10) が約 2.5 ml 入ったペトリ皿 (φ 30 mm) に移した。この時の酵素液の浸透圧は、0 ~ 0.6M にそれぞれ調整したものを使用した。このペトリ皿をパラフィルムで密封した後、恒温振盪器に入れて、酵素処理 (100 rpm, 30 ± 3 °C, 3 hours) を行った。酵素処理後、処理した試料を酵素液ごと遠沈管に移して遠心分離 (約 6,000 g, 3 min) を行い、上澄である酵素液をパスツールピペットで除き、0.5 M MES buffer を加えて再度遠心分離を行った。この操作を 3 回行って卵細胞を洗浄し、最終的に酵素液と同じ浸透圧に調整した 1 ml の 1/10 MS 培地に懸濁した。

この懸濁液をパスツールピペットでスライドガラスに取り、透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡で観察した。スライドガラスは、卵細胞がつぶれないようにビニールテープで枠を作成した。

本実験では、精子および単離卵細胞ともに、0 M ~ 0.6M の 7 種類の浸透圧を用いて実験を行った。

II. 結果

①精子に対する浸透圧の影響

Mannitol で 0 ~ 0.6M まで浸透圧を変化させて精子の活動を観察した結果を Table14 に示した。0 M および 0.1M では、培地に浸した直後から精子の放出が始まり、そのほとんどが遊泳した。0.2M では、精子の放出は 0 M および 0.1M よりは少なかったものの、その遊泳能力にはほとんど違いが見られなかった。0.3M、0.4M、0.5M では、精子の放出が見られたものの、遊泳する精子の数は減少した。0.6M では、放出されて遊泳する精子は観察できなかった。また、浸透圧が高い溶液中の精子には細胞質球が見られなかった。

②単離した卵細胞に対する影響

Mannitol で 0 ~ 0.6M まで浸透圧を変化させて単離した卵細胞を Fig.11 に示した。また、卵細胞の単離率の結果を Table15 に示した。0.6M 及び 0.5M では、1 回の酵素処理で 5 ~

Table14 精子の放出状態

0 M	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M
◎	◎	○	△	△	△	×

- ◎ 運動能力が高い精子を多量に放出
- 運動能力が高い精子を放出
- △ 運動能力が低い精子を放出
- × 精子の放出なし

Table15 卵細胞の単離率

0 M	0.1M	0.2M	0.3M	0.4M	0.5M	0.6M
0	0	0.5	1 ~ 2	1 ~ 2	5 ~ 6	5 ~ 6

(個)

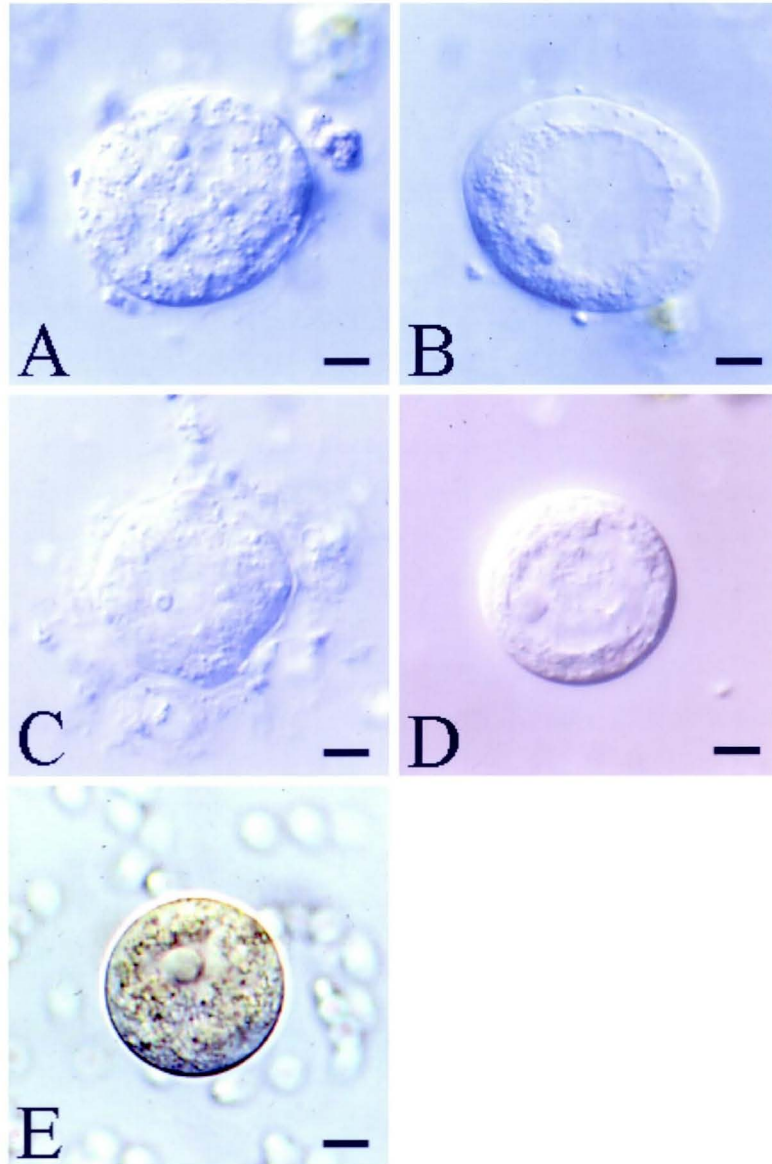


Fig.11 濃度を変えて単離した卵細胞

A : 0.2M で単離した卵細胞

B : 0.3M で単離した卵細胞

C : 0.4M で単離した卵細胞

D : 0.5M で単離した卵細胞

E : 0.6M で単離した卵細胞

bar = 10 μ m

6個単離でき、その形は球形であった。0.4M 及び 0.3M では、1回の酵素処理で1～2個単離でき、その形はやや楕円形になったものも見られた。0.2M では、酵素処理2回で1個単離できた。0.1M 及び 0 M では卵細胞の単離ができなかった。卵細胞の大きさは、0.6M 及び 0.5M で単離したものは 30～40 μm 、0.4M～0.2M で単離したものは 40～50 μm と、浸透圧が下がるにつれ、やや大きめになっていた。

第五節 単離卵細胞を用いた人工受精

I. 方法

本実験では、第四節の結果より、浸透圧を 0.2M に調節した培地を使用した。また、精子および卵細胞の単離方法も、第四節と同様の方法を用いた。

単離した卵細胞の懸濁液を、ビニールテープで枠を作ったスライドガラスにパスツールピペットで取り、さらにその上から精子懸濁液を滴下した。その後、透過ノマルスキー微分干渉顕微鏡下で卵細胞を探し、発見後、卵細胞の周囲における精子の挙動を観察した。

II. 結果

0.2M の精子懸濁液を単離した卵細胞に加えたところ、精子が運動する様子が観察でき、精子と卵細胞プロトプラストが同一条件下で存在できることが確認できた。しかし、精子は遊泳するものの、卵細胞に向かって行くことはなく、受精を観察することはできなかった。

第六節 考察

本実験では、培地として MS 寒天培地を使用した。これは、MS 寒天培地上では造精器や造卵器が約2カ月とほぼ一定の期間で成熟し、また、観察時には容易に培地から前葉体を採集することができるためである。クノップ液や水苔など、他の培地で培養した前葉体で実験を行うことも可能であるが、成熟期間が安定しないことや初期段階の観察が困難なことから、本研究では使用しなかった。

シダ植物の受精の観察は、固定切片を材料にしたものは Duckett と Bell を中心に行われてきた (1971, 1972, 1975)。しかし、生きた状態での観察は、精子が造卵器まで誘導され、その中に侵入するまでをビデオ撮影する程度にとどまり (渡邊ら, 1998)、卵細胞内での精子の挙動を記録したものはない。

本実験において一番望ましい造卵器の状態は、頸口が裂開したばかりで精子が誘引されておらず、かつ、内部の卵細胞が確認できるものである。これらの条件を満たす造卵器を見つけることは困難であったが、柄付針などで頸部を潰した造卵器でも精子が造卵器まで

誘導されて中に侵入したため、成熟した卵細胞があれば人工的に受精の観察を行うことが可能である。前述した通り、MS 寒天培地を使用することで前葉体の成熟期間は安定するため、実験材料としては用いやすい。

浸透圧を変化させて精子を放出された場合、浸透圧を高くするにつれて造精器からの放出量が減少していた。したがって、造精器の蓋細胞の開閉には浸透圧が関係していると考えられる。また、放出された精子は、運動力が低下したり細胞質を持つ数が減少していたため、細胞質球がない精子は、細胞質球から運動に必要なエネルギーを確保できなくなった可能性が考えられる。

卵細胞プロトプラストは 0.2M まで回収が可能であった。体細胞プロトプラストの回収が 0.3M でほぼ不可能になったことを考慮すると、卵細胞の細胞膜は、体細胞の細胞膜に比べて強度が強いと考えられる。

以上の結果は、第二部第 1 章の結果とも一致する。

単離した卵細胞における受精は、精子と卵細胞プロトプラストを同じ条件の下で確保することが可能になったが、収率が高い浸透圧には開きがあった。そのため、精子は 0 M で、卵細胞は 0.4M で回収した後に浸透圧を変化させるなど、他の単離方法を検討する余地があると思われる。また、精子と卵細胞プロトプラストを同じ条件下に置いても、精子が卵細胞に辿り着く場面を観察することはできなかった。精子は卵細胞のすぐ脇を遊泳しても卵細胞に向かう様子がなかったため、精子の誘引能力は、精子誘引物質となる造卵器の頸口細胞と腹溝細胞にのみある性質で、卵細胞にはないことが分かった。

シダ植物の受精の観察は、精子の遊泳については操作が簡単なために教科書でも扱われたことのある生徒実験であるが、造卵器内における観察は行われていない。しかし、本研究から観察できる材料の確保が多少困難であるものの、操作が簡単なため、卵細胞内に入った精子の挙動の観察も生徒実験で可能であることが示唆される。また、まだ可能ではないものの、単離した卵細胞における受精の観察が可能になれば、シダ植物の受精は植物の受精の理解に役立つ教材になると思われる。

第三章

シダ植物の細胞分裂に関する研究

第一節 目的

中等理科教育において基本的な概念である「生命の連続性」を理解させるうえで、生活環は重要な内容である。そのため、現行の学習指導要領まで「生命の連続性」は絶えず扱われている。中でも、現行の学習指導要領の「生命の連続性」からは削除されたものの、平成元年版の学習指導要領までは、ほぼすべての高等学校の教科書で、被子植物からコケ植物まで幅広く教材を例示し、世代交代を含む生活環が取り扱われていた。

シダ植物は、孢子体世代と配偶体世代がそれぞれ独立した個体として存在し、世代交代の説明が容易に行えるため、生活環の学習において重要な教材となっていた。世代交代を実験・観察によって直接理解させるためのキーポイントは、体細胞分裂と減数分裂の観察である。特に、減数分裂における染色体の変化は特徴的であり、世代の切れ目や核相交代を認識する上で非常に重要である。さらに世代交代において減数分裂がどこで起こっているか、その位置は、体細胞分裂と比較することで明らかになる。そのため、体細胞分裂と減数分裂を同時に観察できる材料は、教材として有用である。

シダ植物を用いた観察・実験教材の開発は、清水（1975）による前葉体の培養方法の確立、湯浅（1982）による精子の観察、安田（1988）による配偶体の観察、渡邊ら（1992）による有性生殖の観察など、学校教育に有効な生活環の各時期における観察・実験方法が行われている。また、加藤（1987）は、ミズワラビ (*Ceratopteris thalictroides* (L.) Brongn) を材料として用い、この材料は、鉢植えにして栽培可能で、年間を通して容易に成熟した胞子が採取できる、胞子を播いてから3週間ほどで前葉体が成熟し、2カ月ほどで孢子体が生じるなど、教材としての長所を報告している。また、アメリカでもミズワラビ属を用いた培養系が確立され、生徒用実験教材キットが市販されている (Hickok and Warne 1998)。しかし、ミズワラビは染色体の数が多く ($2n = 156$, 岩槻 1992)、体細胞分裂や減数分裂の観察には適さないため、これらのミズワラビの教材でも細胞分裂に関する内容は扱われていない。

体細胞分裂や減数分裂の観察に適したシダ植物としては、ゼンマイ (*Osmunda japonica* Thunb.) が高宮（1988）により報告され、その特徴として、日本全国に分布していること、染色体の数が同型孢子シダの中で最も少ない ($2n = 44$) こと、体細胞分裂と減数分裂がともに観察可能であること、などが挙げられている。しかし、野外では減数分裂が行われる時期が4月下旬から5月上旬の年1回の短い期間に限定されることなど、年間を通した材料の確保は困難である。

そこで本研究では、染色体の数が同型孢子シダで最も少ない $2n = 44$ であるシロヤマゼンマイ (*Osmunda banksiifolia* (Pr.) Kuhn) を材料として用い、細胞分裂の観察を行った。特にシロヤマゼンマイは、辰野と吉田（1966；1967）の報告にあるように、染色体の長さは $5.0 \sim 6.5 \mu\text{m}$ である。さらに、人工的に培養した孢子体でも約1年ほどで孢子体を形成した。そのため、シロヤマゼンマイを培養系に導き、培養した個体を用いて、年間を通して任意の時期に体細胞分裂と減数分裂が観察可能な方法を開発し、その教材としての有用性も検討した。

第二節 材料

名古屋市東山植物園から分与されたシロヤマゼンマイ *Osmunda banksiifolia* (Pr.) Kuhn (Fig.12A) の孢子を使用した。成熟した孢子のうを持つ孢子葉 (Fig.12B) を紙の上で乾燥させて孢子を採取した。シロヤマゼンマイの孢子は緑色で内部に葉緑体を持ち、採取後 1 週間以上経過すると発芽率が 10 % 以下まで急速に低下するため、採取後 1 週間以内に実験に用いた。

採取したシロヤマゼンマイの孢子は、0.2 % 次亜塩素酸ナトリウム水溶液で約 1 分間滅菌し、ペトリ皿内の MS 寒天培地 (寒天 0.6 %、pH5.8) に播種した後、パラフィルムで封入し、人工気象器 (25 ± 1 °C、1,000 ~ 2,000lx、暗期 8 時間) で培養し、孢子体を得た。孢子の滅菌以降の作業は無菌状態で行った。

前葉体が成長して有性生殖器官が成熟し、受精によって生じた若い孢子体が約 1 cm に伸びた時点で、1/4 MS 寒天培地 (寒天 0.6 %、pH5.8) の入った 100 ml の三角フラスコに移植し、継続して培養した。

第三節 方法

① 体細胞分裂の観察

新しく伸び始めた根を切り取り、0 °C のファーマー液 (エタノール : 酢酸 = 3 : 1) に浸して約 30 分間固定した。観察に使用した根は、新しく伸び始めてきた根で、このような根は先端が白から黄緑色をしている (Fig.13A)。先端が黒い根は伸長が止まっているため、細胞分裂の観察には適さない (Fig.13B)。固定後、60 °C の 1 mol/l の塩酸に 60 秒間浸して解離した。その後、根をスライドガラスにのせ、先端から約 3 mm を切り取った。根の先端部に 2 % 酢酸オルセイン溶液を 1 ~ 2 滴かけ、45 % 酢酸溶液の湿室に入れて約 10 分間染色した。染色後、余分な染色液を濾紙で取り除き、カバーガラスをかけ。先を尖らせた割り箸で軽くたたいて細胞を散らし、押しつぶし法によってプレパラートを作製した。体細胞分裂の中期染色体を観察する場合には、切り取った根を 0.002 mol/l の 8-ヒドロキシキノリン溶液に入れ、室温で 3 時間前処理した後、固定を行った。この前処理により、紡錘糸の形成が妨げられるため、体細胞分裂中期で細胞分裂が停止し、無処理に比べ、より収縮した染色体が観察可能となる。

また、根の代わりに、新しく形成中である孢子葉の成長点を使用しても細胞分裂の観察は可能である。その場合も、根の観察方法と同様に、茎の先端 (Fig.13C) を切り取り、0 °C のファーマー液で約 30 分間固定し、その後、解離と染色を行い、押しつぶし法にてプレパラートを作成した。



Fig.12 シロヤマゼンマイ (*Osmunda banksiifolia*) の孢子体
名古屋市立東山植物園にて
A : 孢子体の全体像 B : 孢子のうをつけた孢子葉

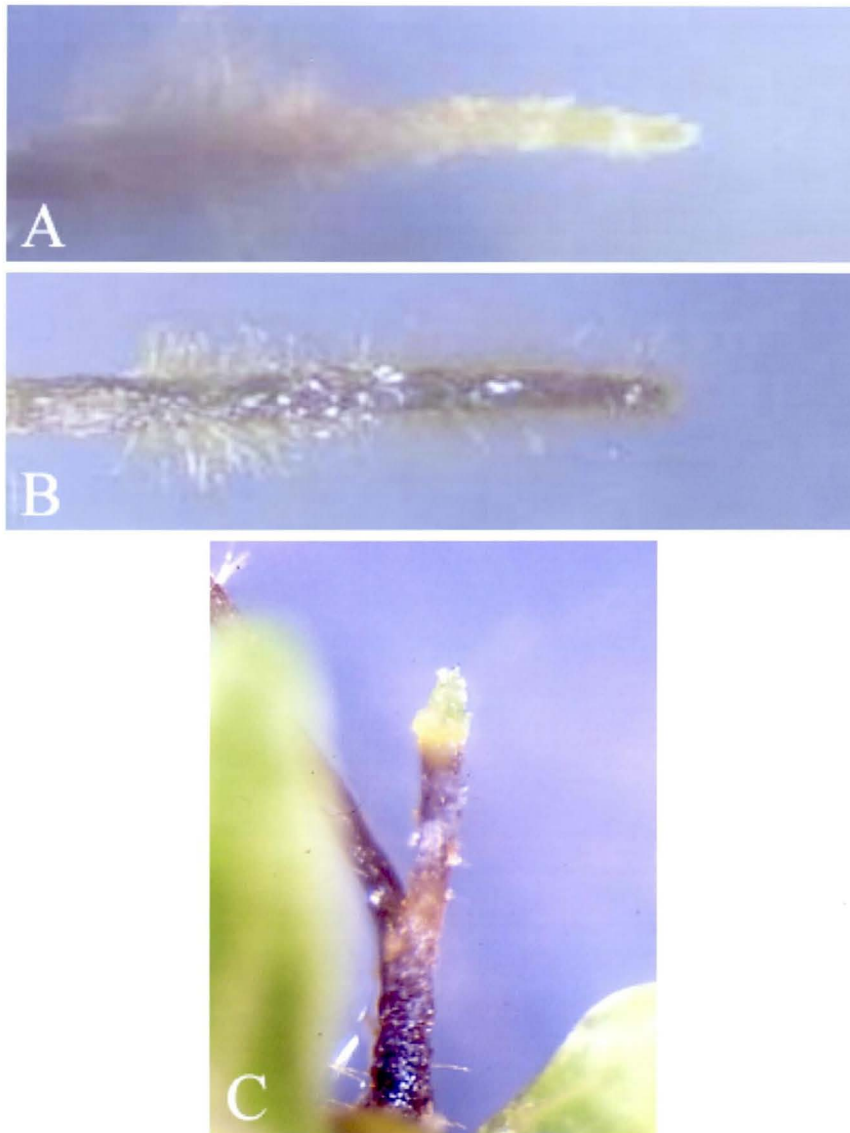


Fig.13 体細胞分裂が活発に行われている部分
A：細胞分裂が行われている成長中の根
B：細胞分裂が終了し、成長が止まった根
C：新しくのびてきた茎

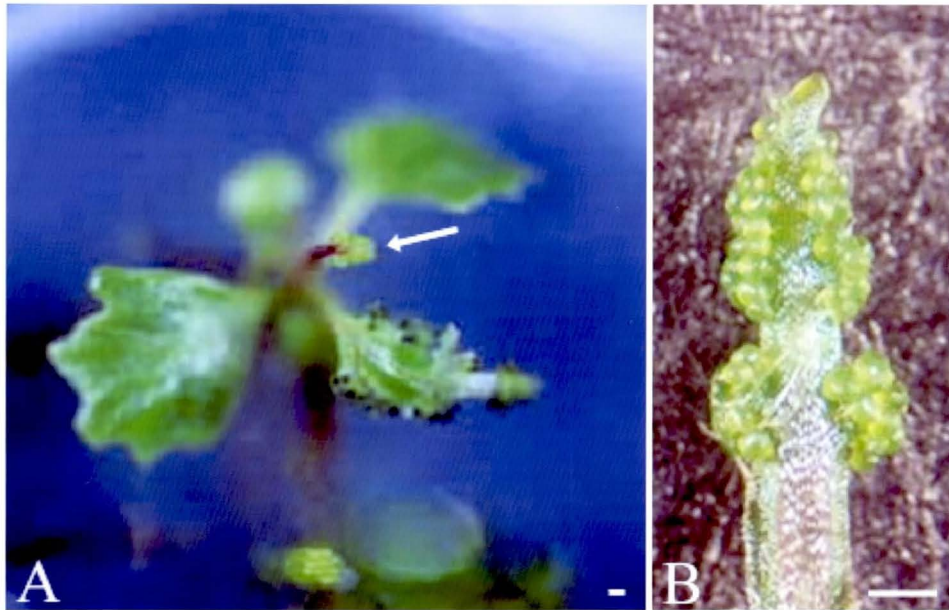


Fig.14 培養系において得られた孢子体

A : 孢子体に形成された孢子葉 (矢印が孢子のう群)

B : 孢子葉に形成された孢子のう群

bar = 1 mm

②減数分裂の観察

新しく伸びたうすい黄緑色の胞子葉 (Fig.14A) が現れたら、胞子葉を切り取り、0℃のファーナー液に浸して約 10 分間固定した。胞子葉は胞子のうしか形成しないため、栄養葉と容易に区別できる (Fig.14B)。緑色になった胞子のうは、減数分裂が終わり、すでに胞子が形成されているために観察に適さない。また、固定した試料はファーナー液に入れたまま冷蔵庫で保存すると、約 1 ヶ月保存が可能である。固定後、胞子葉から胞子のうを 5～6 個スライドガラス上に取り、2% 酢酸オルセイン溶液を 1～2 滴かけ、45% 酢酸溶液の湿室に入れて約 10 分間染色した。染色後、カバーガラスをかけ、カバーガラスの上から先を尖らせた割り箸で軽くたたいて胞子のうから胞子母細胞等を押出し、押しつぶし法によってプレパラートを作製した。

第四節 結果

①培養結果

シロヤマゼンマイの胞子 (Fig.15A) は、胞子を播いてから 1 週間以内に発芽して仮根が伸長した (Fig.15B)。胞子を採取してから 1 週間以内に胞子を播いた場合、胞子の発芽率は 80% 以上であった。仮根の伸長後、内部に葉緑体を持った細胞が形成され、体細胞分裂を繰り返して成長した。3 週間ほどで前葉体のハート型が形成された (Fig.15C)。

胞子を播いた後、約 4 カ月で幅が約 3 mm のハート型をした前葉体が形成された。その後、前葉体は成長を続けて、胞子を播いてから 7 カ月ほどで幅が約 8 mm になり (Fig.16A)、前葉体の裏側 (Fig.16B) に、造卵器 (Fig.16C) と造精器 (Fig.16D) が形成された。造卵器は前葉体の裏面中央部分のクッション両端部に約 10 個、造精器は前葉体裏面の翼部に 20～30 個形成された。成熟した造卵器の大きさは約 80 μ m、造精器の大きさは約 70 μ m であった。前葉体の密度が高い状態で培養を行うと、形がハート型にならないものや、幅が 5 mm 未満のものが多く形成された。幅が 5 mm 未満の前葉体には造卵器の形成が見られなかった。しかし、密度が高い場合でも、5 mm 以上の大きさになると造精器と造卵器が形成され、この時期の前葉体を水に浸すと、造精器から精子 (Fig.16E) が放出され、精子は造卵器の口の部分まで泳いで造卵器内に侵入した。精子の観察は、前葉体が次々に成熟する間、すなわち胞子を播いてから 7 カ月目からその後 2～3 ヶ月間可能であった。前葉体、造精器および造卵器の構造の観察は、成熟後 1～2 年間にわたって可能であった。

ペトリ皿内で継続して培養した前葉体は、順次受精を行い、受精後、約 1 カ月で前葉体のクッション部から若い胞子体が伸びはじめ (Fig.17A)、約 2 カ月で大きさが約 1 cm に成長した。この時点で胞子体を三角フラスコに移植して培養すると、移植後約 3 カ月で胞子体の大きさが約 3 cm にしか成長していないにもかかわらず、三角フラスコ内で胞子葉を生じ、胞子形成が起こった (Fig.17B)。この胞子体は、継続して培養を続けると、約 1 年間にわたって次々に新しい胞子葉を約 10 回形成した。また、成熟した胞子を採取して新しい培地に播くと、発芽して前葉体を形成した。したがって、これをくり返すと、常時新しい前葉体と胞子体を確保することが可能である。

野外において、シロヤマゼンマイの胞子が発芽してから次の胞子を形成するまでに要す

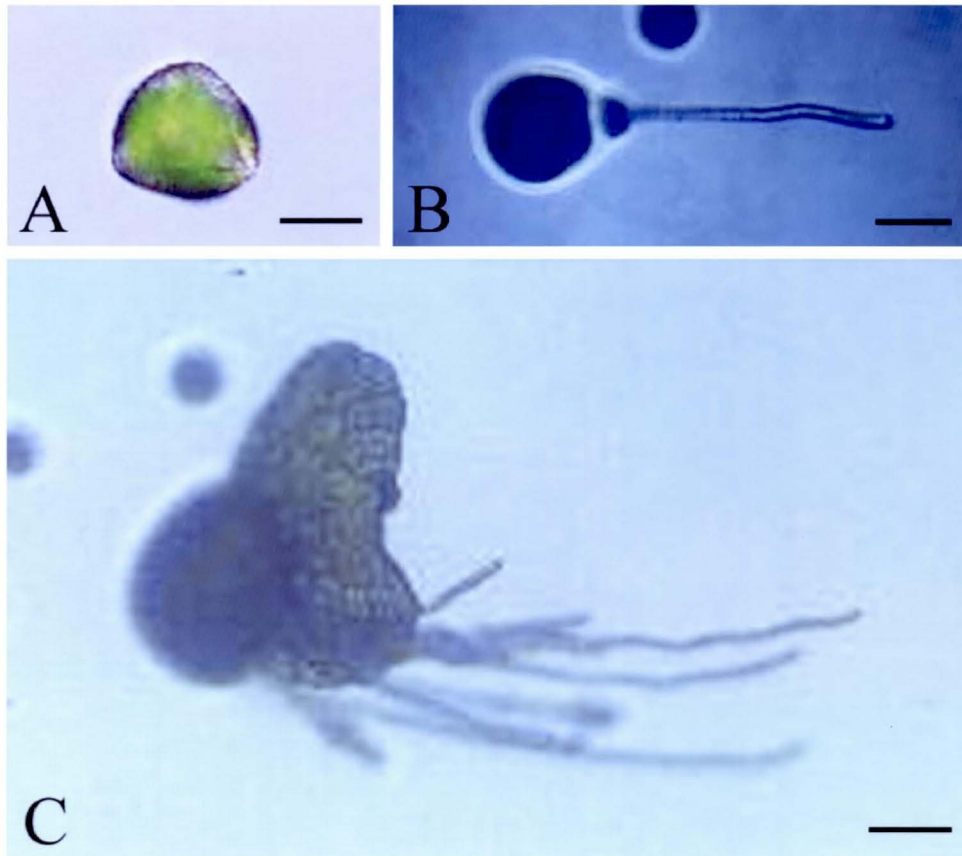


Fig.15 シロヤマゼンマイの胞子とその発芽

A : 播種前の胞子

B : 発芽した胞子 (播種後 1 週間)

C : 発芽した胞子 (播種後 3 週間)

bar = 50 μ m

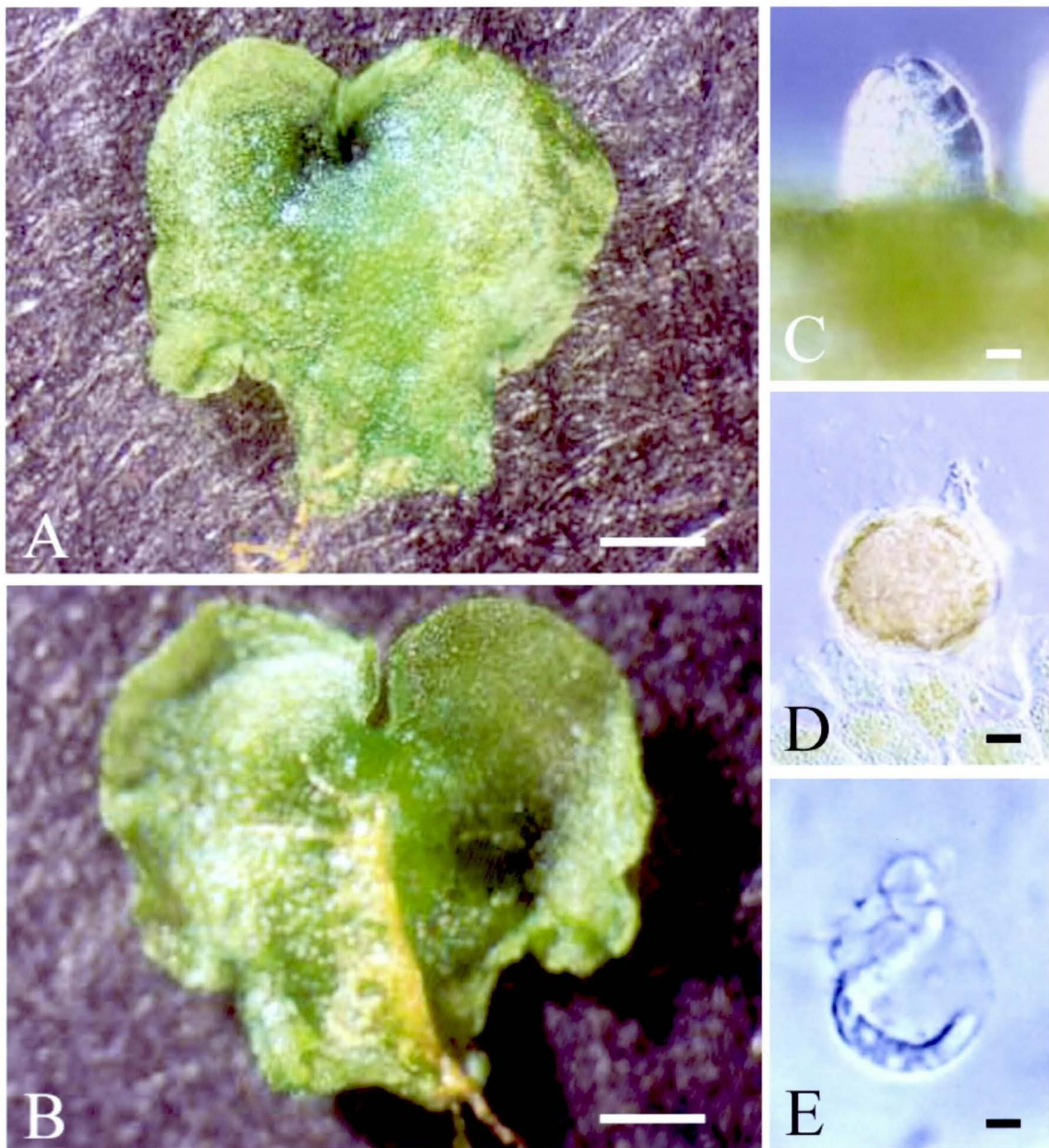


Fig. 16 シロヤマゼンマイ培養系における前葉体と有性生殖器官
および有性生殖細胞

A : 成熟した前葉体表面 (播種後7ヶ月) B : 成熟した前葉体裏面

C : 造精器 D : 造卵器 E : 精子

bar : A,B = 1 cm C,D = 10 μ m E = 1 μ m

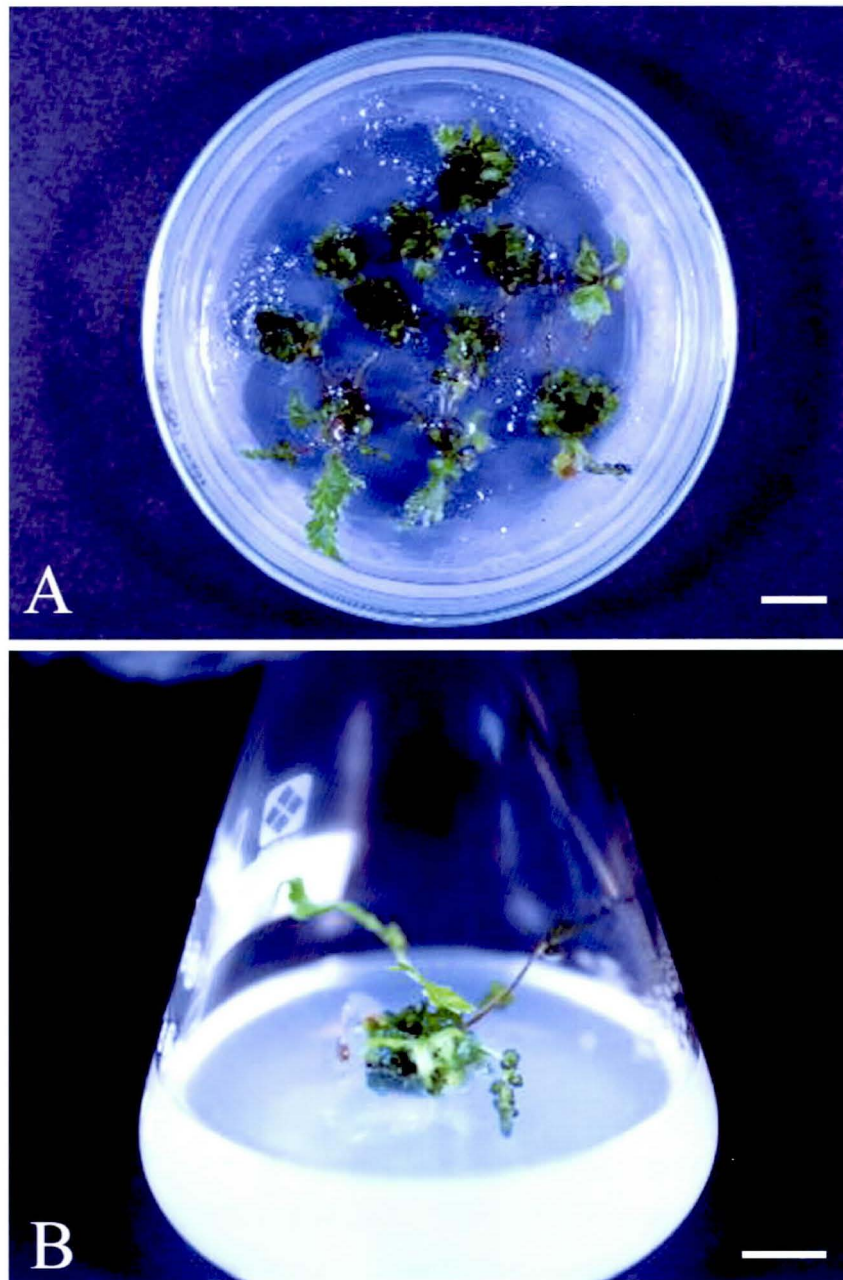


Fig.17 シロヤマゼンマイ培養系における孢子体

A : シャーレ内で成長中の孢子体 (播種後 8 ヶ月)

B : 三角フラスコ内で成長中の孢子体 (移植後 3 ヶ月)

bar = 1 cm

る期間は明らかになっていない。しかし、人工条件下で培養を行うことにより、胞子体から容易に胞子葉や根が成長し、胞子葉の長さが約3 cm 程度でも胞子形成を行った。これらの結果より、人工条件下では胞子を播いてから次の胞子が形成されるまでの期間は約1年であることが明らかになった。

②体細胞分裂

伸び始めた直後の白い根端を使用して体細胞分裂の観察を行った。その結果、間期・前期・中期・後期・終期の各時期の観察ができた。茶褐色に変色した根端は硬く、体細胞分裂が行われていないために観察が困難であった。白い根端がない場合には、新しい培地に植え替えて成長を促せば、数日で新しい根が形成された。また、分化が始まったばかりの茎の成長点でも体細胞分裂が観察可能であった。この場合、前葉体から伸び始めた直後の大きさ約5 mm の芽を使用した。

体細胞分裂の各時期を Fig.18 に示した。間期の核 (Fig.18A) から核膜および核小体が消えて糸状の染色体が形成された。糸状の染色体は徐々に太い染色体に変化して (Fig.18B) 赤道面に並び (Fig.18C)、染色体が2つに分かれて両極へ引かれ (Fig.18D)、両極に引かれた染色体 (Fig.18E) は糸状の染色体に戻り、核膜および核小体が現れ、細胞壁が形成されて再び間期になった (Fig.18F)。

体細胞分裂中期 (Fig.18C) における染色体の長さは約8 μ m あり、通常、現場の生徒実験に用いる40倍の対物レンズを用いても、44個の染色体の数を数えることが可能であった。

一方で、前葉体における体細胞分裂は、盛んに成長していると思われる前葉体を用いたにもかかわらず、観察することはできなかった。

③減数分裂

胞子のうを使用して減数分裂の観察を行った。胞子のうはワラビなどとは異なり、胞子のうをカバーする包膜がないため、外部から直接確認することが可能であった。また、1本の胞子葉の中で減数分裂は胞子葉の下部から先端部へと順に起こるため、観察に適した時期の胞子のうを確保することが容易であった。胞子のうは、未成熟な場合には黄緑色で小さく (直径約0.1 mm)、中の胞子が成熟するにつれ、緑色に変色して大きくなる (直径約0.5 mm) ため、胞子のうの色と大きさを基準にして減数分裂の観察に適した胞子のうを選ぶことができた。減数分裂の観察には、直径が約0.5 mm で、色がまだ黄緑色の胞子のうが適当であった。

減数分裂および胞子ができるまでを Fig.19 に示した。胞子母細胞が Fig.19A、減数分裂の第一分裂が Fig.19B ~ Fig.19G、第二分裂が Fig.19H ~ Fig.19L、胞子が形成されるまでが Fig.19M ~ Fig.19O にあたる。

減数分裂の第一分裂では、胞子母細胞 (Fig.19A) の核膜および核小体が消えて糸状の染色体が形成された (Fig.19B)。この糸状の染色体は徐々に太くなり (Fig.19C)、二価染色体となって赤道面に並び (Fig.19D)、二価染色体が2つに分かれて両極へ引かれた (Fig.19F,G)。両極に引かれた二価染色体は太い染色体に変化し (Fig.19H)、糸状の染色体に戻った。第二分裂では、2つに分かれた染色体は再び太い染色体となって赤面に並び

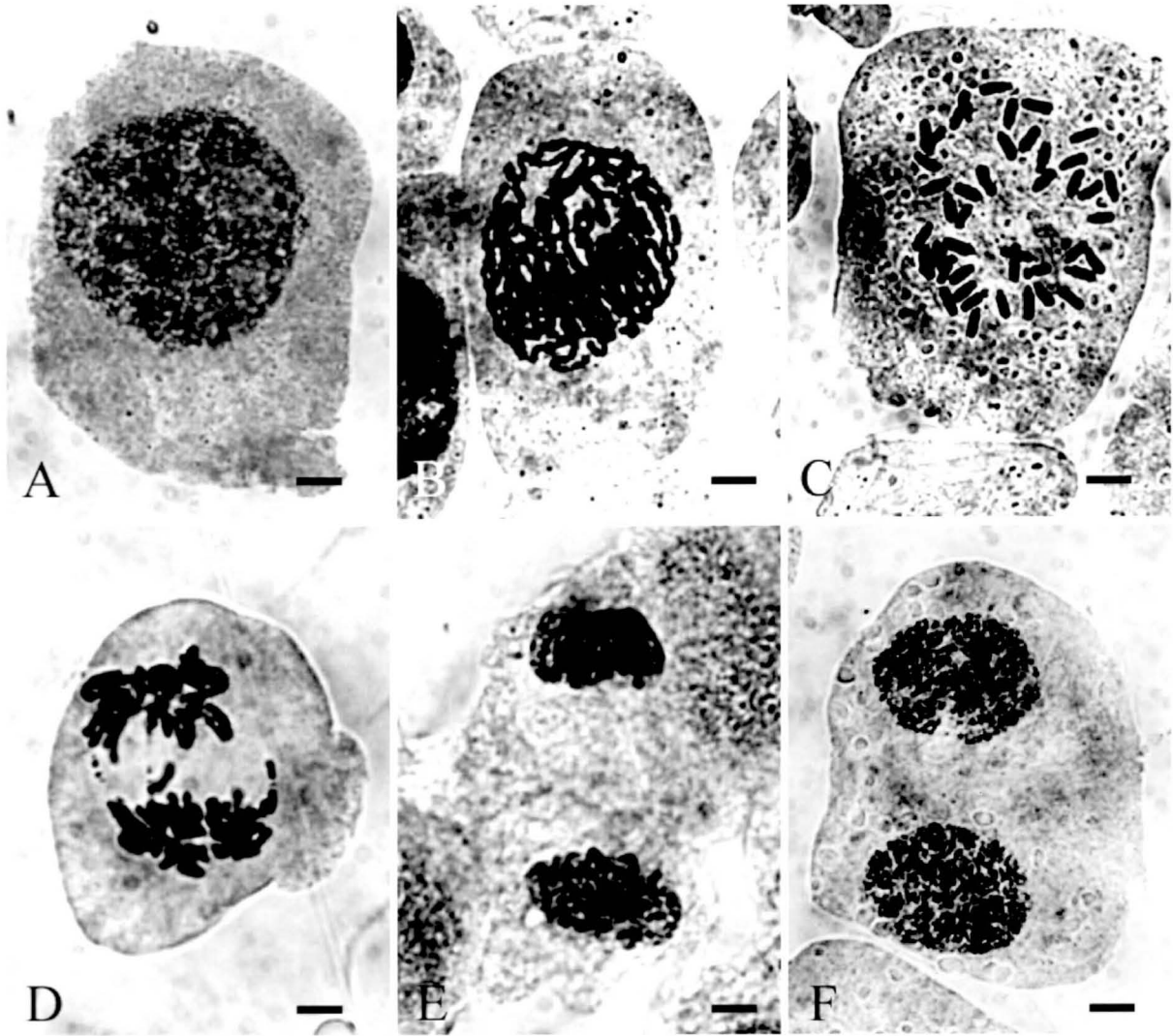
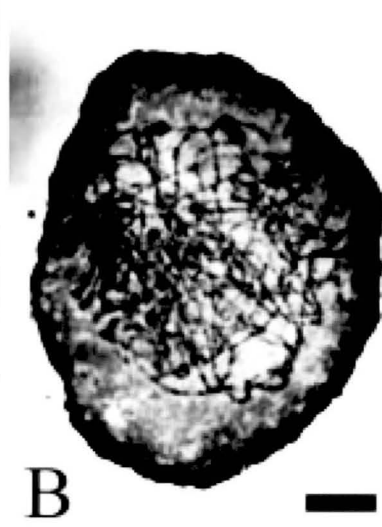


Fig.18 シロヤマゼンマイ培養系の胞子体の根における体細胞分裂

A : 間期 (母細胞) B : 前中期 C : 中期 ($2n = 44$)
 D : 後期 E : 終期 F : 間期 (娘細胞)

bar = 10 μ m



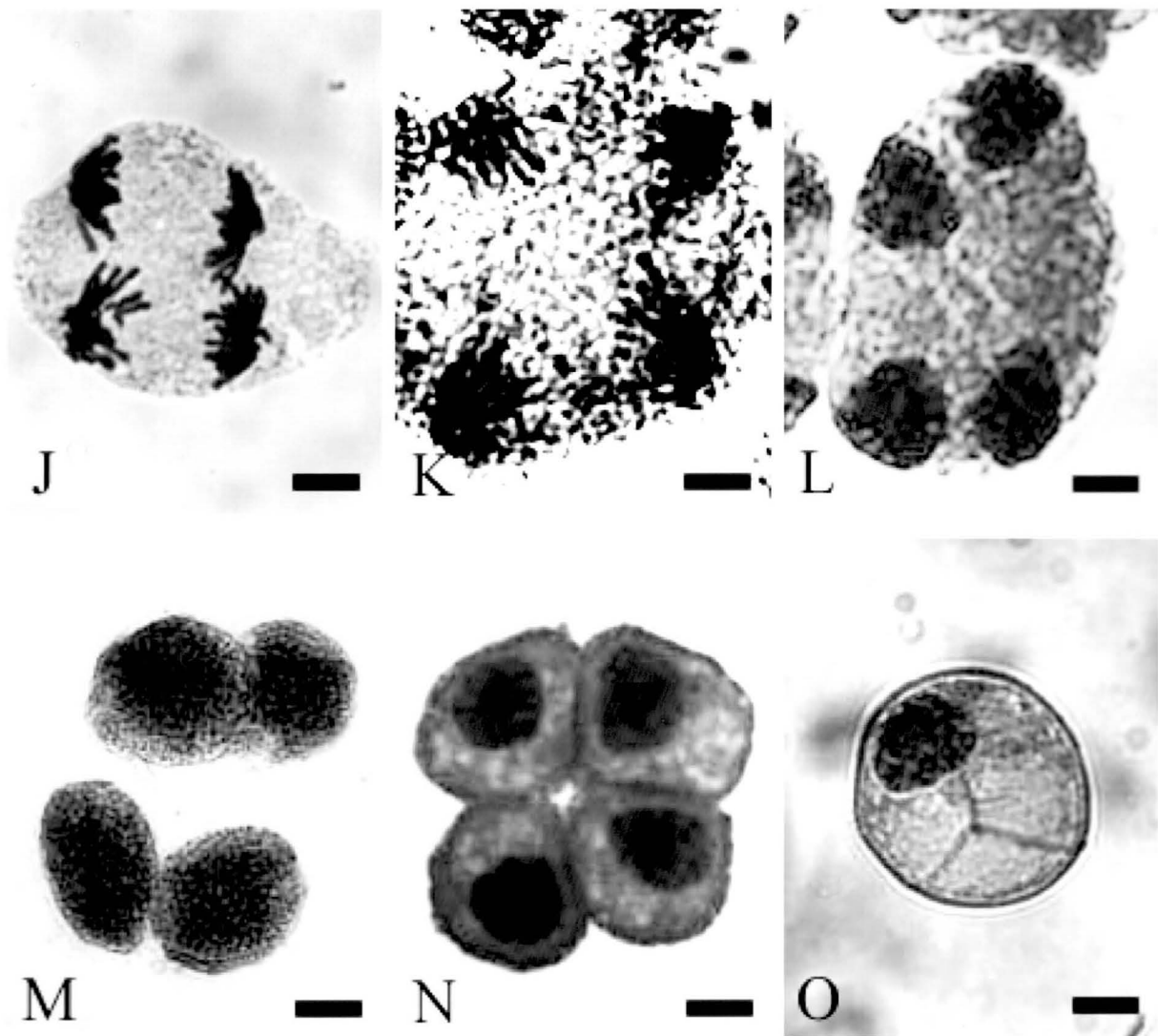


Fig.19 シロヤマゼンマイ培養系の胞子体の胞子のうにおける減数分裂

- | | | |
|---|--------------------|------------------|
| A : 胞子母細胞 | B : 細糸期 (第一分裂前期) 1 | |
| C : 細糸期 (第一分裂前期) 2 | | D : 第一分裂中期 (側面観) |
| E : 第一分裂中期 (極面観 $2n = 44 = 22 \text{ II}$) | F : 第一分裂後期 1 | |
| G : 第一分裂後期 2 | H : 第一分裂終期 | I : 第二分裂前期 |
| J : 第二分裂中期 | K : 第二分裂終期 1 | L : 第二分裂終期 2 |
| M : 胞子四分子 | N : 成熟前の胞子 | O : 成熟した胞子 |

bar = 10 μ m

(Fig.19I)、さらに2つに分けられて両極に引かれた (Fig.19J)。4つに分けられた染色体は、太い染色体 (Fig.19K) から核膜を持った核へと変化して (Fig.19L) 胞子四分子となり (Fig.19M)、それぞれが成熟して胞子 (Fig.19O) が形成された。

減数分裂の第一分裂中期 (Fig.19E) における二価染色体の大きさも約 $8 \mu\text{m}$ あり、通常、現場の生徒実験に用いる 40 倍の対物レンズを用いても、22 個の二価染色体の数 ($2n = 44 = 22 \text{ II}$) を数えることが可能であった。

第五節 考察

シロヤマゼンマイの培養系を用いた本研究の結果を基にして、高等学校における教育現場で扱うことが可能な生徒の実験・観察を Fig.20 に示す。

シロヤマゼンマイは、寒天培地を用いた培養系において、胞子が発芽して成長し、ハート型の前葉体を形成するとともに、正常な造精器や造卵器を形成し、精子と卵細胞が成熟した。また、これらの精子と卵細胞は容易に受精し、成長した胞子体からは胞子葉が分化して胞子形成を行った。さらに、成長した胞子体を一度 100 ml の三角フラスコに移植した後は、そのままの状態新しい栄養葉や胞子葉が次々と成長し、一年を通して胞子が形成された。すなわち、胞子を播いてから胞子体が胞子を形成するまでの期間が、約 1 年間と生活環が完結するまで時間がかかるものの、胞子の発芽から再び胞子を形成するまでのすべての生活環がペトリ皿やフラスコ内の人工条件下で進行し、受精の観察材料となる前葉体の造精器と造卵器および精子と卵細胞、体細胞分裂や減数分裂の観察材料となる根と胞子葉、無性生殖の一形態である胞子などが、季節を問わず年間を通して確保できることが明らかになった。

シロヤマゼンマイの培養は、新鮮な胞子さえ入手できれば、特別な道具を使用したり特別な技術を要することもなく行うことができる。また、本実験における前葉体の培養は、移植が 1 回のみと手間がかかっておらず、前葉体および胞子体は、ともにこの移植のみで 1 年以上もの長期間の培養が可能であった。したがって、教育現場でも容易に培養できるものと思われる。

細胞分裂の観察の面でも、体細胞分裂と減数分裂のすべての段階が観察可能である、体細胞分裂と減数分裂ともに染色体数を確認できる、染色体数の確認が可能である同型胞子シダ植物ではゼンマイ属は最少の染色体である、40 倍の対物レンズでも十分観察が可能である、などの特徴があり、細胞分裂の観察材料として必要な条件を満たしていると考えられる。

日本全国に生育しているワラビ (*Pteridium aquilinum* (L.)) を材料に減数分裂の観察を行ったところ、Fig.21 のような像が得られた。ワラビを材料として用いた場合、ワラビは胞子体の培養方法が確立していないため、自生している材料を用いなければならず、観察に適した胞子のうを採集する時期が 7~8 月に限定される。また、胞子のうが包膜で包まれているため、胞子のうを直接観察することは困難で、さらに、採集時期を特定することも困難であった。

観察された減数分裂の分裂像は、染色体の大きさが約 $4 \mu\text{m}$ で、その数も多かった ($2n$

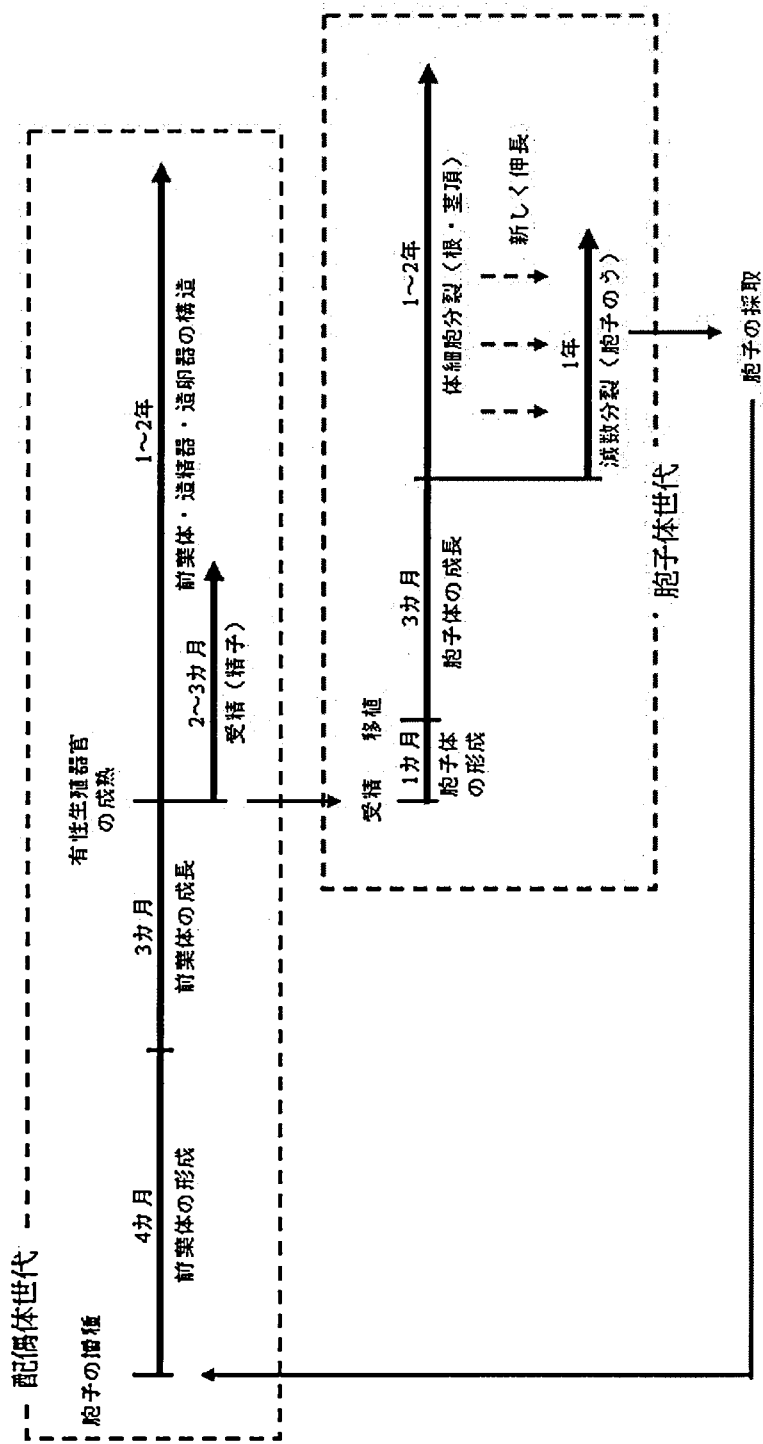


Fig 20 シロヤマゼンマイの培養系を用いた観察
(表中の太矢印は、各観察が可能な時期を示す)

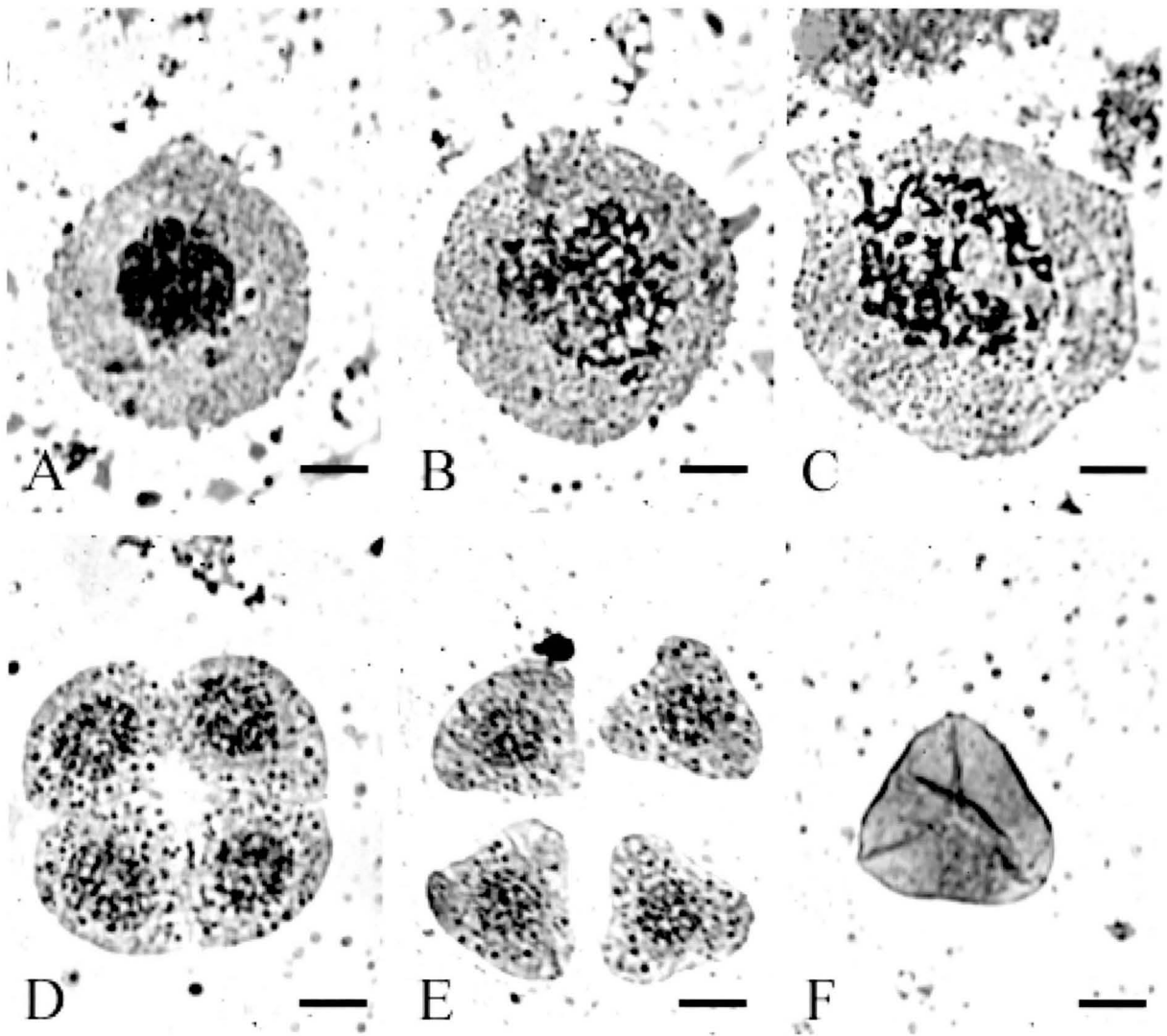


Fig.21 ワラビの孢子体の孢子のうにおける減数分裂

- A : 孢子母細胞 B : 細糸期 (第一分裂前期)
 C : 第一分裂中期 (極面観 $2n = 104 = 52 \text{ II}$) D : 第二分裂終期
 E : 孢子四分子 F : 成熟した孢子

bar = 10 μ m

= 104) ため、その多くが重なり合い、本数を数えることは困難であった。

以上の結果より、シロヤマゼンマイは培養により、生活環の各段階が常時確保できるため、生活環の観察に適した材料であるといえる。また、生活環は1年で完結し、1学年のカリキュラムで使用することが可能である。さらに、体細胞分裂と減数分裂が同時期に観察可能であり、一つの種で体細胞分裂と減数分裂の過程を比較することができるため、体細胞分裂と減数分裂の相違点の理解するうえで有効な実験材料となると思われる。したがって、シロヤマゼンマイは形態面ばかりでなく、核相交代の面からも生活環を追うことができる教材であると考えられる。このことは、シロヤマゼンマイの培養系が新しい学習指導要領の「生命の連続性」から削除された「生活環」の観察材料としてばかりでなく、新しい学習指導要領でも扱われている「細胞」や「生殖と発生」などにおける観察材料としても有効であることを示している。

一方で、前葉体を用いての体細胞分裂の観察はできなかった。このことは、前葉体では全体にわたって細胞分裂が行われるために分裂頻度が低くなることや、葉緑体などの細胞小器官が多いために染色体が観察しにくくなると考えられる。したがって、前葉体の体細胞分裂から配偶体世代の染色体数を確定するためには、培養条件や観察方法などをさらに検討する必要がある。

さらに、この培養系では移植が1回のみと手間がかからず、教育現場でも容易に培養できるものと思われるが、初代の胞子培養は無菌操作が望まれるので、アメリカのミズワラビを用いた教材キット提供システムを参考にして、教材供給システムを確立する必要がある。また、シロヤマゼンマイは日本の一部地域にしか生育していないため、同じ仲間であるゼンマイの培養系を確立するのも1つの方法であると考えられる。

参考文献

一章

- 加藤旌夫 (1973) 染色体の染め分けのテクニック. 遺伝 27 (7): 38-44
- 加藤俊一 (1988) スギナー入門期の教材ー 遺伝 42 (3): 31-33
- 加藤富士夫 (1987) ミズワラビの前葉体. 遺伝 41 (9): 72
- 北村元仕・三輪史朗・三輪谷俊夫・狩野恭一・江部充・高橋正宜 (1988) 臨床検査マニュアル. 文光堂
- 月刊 Medical Technology (1980) 染色法のすべて. 医歯薬出版
- 佐々木博己 編集 (1997) 無敵のバイオテクニカルシリーズ特別編 バイオ実験の進めかた. 羊土社
- 高橋千裕 (1968) シダの孢子. 遺伝 22 (6): 61-64
- 豊島聰 監修 (1995) 廣川 化学と生物実験ライン 37 抗体の実験技術 I. 廣川書店
- 豊島聰 監修 (1995) 廣川 化学と生物実験ライン 37 抗体の実験技術 II. 廣川書店
- 新津恒良・寺坂治 (1989) 関節蛍光抗体法によるネギの根端細胞分裂各期の微小管配向. 遺伝 43 (2): 26-29
- 西方敬人 (1997) 細胞工学別冊 目で見える実験ノートシリーズ バイオ実験イラストレイテッド⑤タンパクなんてこわくない. 秀潤社
- 光田重幸 (1988) シダの研究と栽培法. 遺伝 42 (3): 8-12
- 毛利秀雄 (1967) 精子の機能ーその運動を中心としてー. 遺伝 21 (3): 23-27
- 百瀬静男 (1965) シダの前葉体の培養法. 遺伝 19 (11): 59-62
- 百瀬静男 (1967) 日本産シダの前葉体. 東京大学出版社
- 安田啓祐 (1988) シダ類の配偶体世代の観察. 遺伝 42 (3): 13-18
- 湯浅明 (1967) 植物の精子. 遺伝 21 (3): 11-16
- 湯浅明 (1972) シダ植物の精子. 遺伝 26 (3): 9-15
- 湯浅明 (1983) 植物の精子のつくり 2本の鞭毛をもつ精子の研究の進歩. 採集と飼育 45 (7): 298-302
- 湯浅明 (1987) 植物の博物学 (1). 遺伝 41 (1): 105-111
- 湯浅明 (1987) 植物の博物学 (2). 遺伝 41 (2): 67-74
- 湯浅明 (1987) 植物の博物学 (3). 遺伝 41 (3): 64-74
- 湯浅明 (1987) 植物の博物学 (4). 遺伝 41 (4): 97-104
- 湯浅明 (1987) 植物の博物学 (5). 遺伝 41 (5): 65-73
- 湯浅明 (1987) 植物の博物学 (6). 遺伝 41 (6): 71-77
- 湯浅明 (1988) 植物の博物学 (16). 遺伝 42 (5): 71-78
- 渡邊重義・池田秀雄 (1994) シダ植物の有性生殖の教材化 Iー固定した資料を用いた受精現象の観察ー. 生物教育 34 (4): 307-313
- 渡邊重義・福田香織・池田秀雄 (1992) シダの有性生殖に関する研究. 生物教育 32 (1): 100-101
- 湯浅明 (1969) 植物の精子. 東京大学出版会

- Alfert, M. and Geschwind, I. I. (1953) A SELECTIVE STAINING METHOD FOR THE BASIC PROTEINS OF CALL NUCLEI, *Biochemistry* **39**: 991-1003
- Apostolakos, P. and Galatis, B. (1999) Microtubules and action filament organization during atomatal morphogenesis in the fern *Asplenium nidus*, *New Phytol.* **141**: 209-223
- Bell, P. R. (1960) Interaction of nucleus and cytoplasm during oogenesis in *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Proc. Roy. Soc. B* **153**: 421-432
- Bell, P. R. (1961) Failure of Nucleotides to diffuse freely into the Embryo of *Pteridium aquilinum*, *NATURE* **4783**: 91-92.
- Bell, P. R. (1962) A Membrane Peculiar to the Egg in the Gametophyte of *Pteridium aquilinum*, *Nature* **195**: 198
- Bell, P. R. and Muhlethaler, K. (1962) The Fine Structure of the Cells Taking Part in Oogenesis in *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *J. Ultrastructure Research* **7**: 452-466
- Bell, P.R. (1963) The cytochemical and ultrastructural peculiarities of the fern egg, *Bot. J. Linn. Soc.* **58**: 353-359.
- Bell, P. R. and Muhlethaler, K. (1964) The Degeneration and Reappearance of Mitochondria in the Egg Cells of a Plant, *The Journal of Cell Biology* **20**: 235-248
- Bell, P. R., Frey-Wyssling, A. and Muhlethaler, K. (1966) Evidence for the Discontinuity of Plastids in the Sexual Reproduction of a Plant, *J. Ultrastructure Research* **15**: 108-121
- Bell, P. R., Duckett, J. G. and Myles, D. (1971) The Occurrence of a Multilayered Structure in the Motile Spermatozoids of *Pteridium aquilinum*, *J. Ultrastructure Research* **34**: 181-189
- Bell, P. R. (1972) Nucleocytoplasmic Interaction in the Eggs of *Pteridium aquilinum* Maturing in the Presence of Thiouracil, *J. Cell Sci.* **11**: 739-755
- Bell, P. R. (1975) Observations on the Male Nucleus during Fertilization in the Fern *Pteridium Aquilinum*, *J. Cell Sci.* **17**: 141-153.
- Bell, P. R. and Duckett, J. G. (1976) Gametogenesis and fertilization in *Pteridium*, *Bot. J. Linn. Soc.* **73**: 47-78.
- Cao, Y., Russell, S. D. (1997) Mechanical isolated and ultrastructural characterization of viable egg cells in *Plumbago zeylanica*, *Sex Plant Reprod.* **10**: 368-373
- Cave, C. F. and Bell, P. R. (1974) The Nature of the Membrane Around the Egg of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Ann. Bot.* **38**: 17-21
- Coleman, A. W., Maguire, M. J. and Coleman, J. R. (1981) Mithramycin- and 4'-6-Diamidino-2-Phenylindole (DAPI) -DNA Staining for Fluorescence Microspectrophotometric Measurement of DNA in Nuclei, Plastids, and Virus Particles, *J. Histochemistry and Cytochemistry* **29** (8) : 959-968.
- Coleman, A. W. and Goff, L. J. (1985) Applications of Fluorochromes to Pollen Biology. I. Mithramycin and 4',6'-diamidino-2-phenylindole (DAPI) as Vital Stains and for Quantitation of Nuclear DNA, *Stain Technology* **60** (3) : 145-154

- Douthart, R. J., Burnett, J. P., Beasley F. W. and Frank B. H. (1973) Binding of Ethidium Bromide to Double-Stranded Ribonucleic Acid, *Biochemistry* **12** (2) : 214-219
- Duckett, J. G. (1972) Pentagonal Arrays of Ribosomes in Fertilized Eggs of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *J. Ultrastructure Reserch* **38**: 390-397
- Fasciati, R., Schneller, J., Jenni, V. and Roos, U. P. (1994) Fertilization in the fern *Athyrium filix-femina* II. Ultrastructure, *Crypt. Bot.* **4**: 356-367
- Grimes, S., Weisz-Carrington, P., Henry Daum III, Smith, J., Green, L., Wright, K., Stein, G. and Stein, J. (1987) A Rat Histone H4 Gene Closely Associated with the Testis-Specific H1t Gene, *Experimental Cell Research* **173**: 534-545
- Heslop-Harrison, J. and Heslop-Harrison, Y. (1970) Evaluation of Pollen Viability by Enzymatically Induced Fluorescence; Intracellular Hydrolysis of Fluorescein Diacetate, *Stain Technology* **45** (3) : 115-120
- Hickok, L. G. (1982) Abscisic acid blocks antheridiogen-induced antheridium formation in gametophytes of the fern *Ceratopteris*, *Can. J. Bot.* **61**: 888-892
- Hirose, S. and Komamine, A. (1992) Observation of Mitochondria and Mitochondrial Nuclei by Double Staining with Rhodamine-123 and DAPI in Synchronous Cultures of *Catharanthus roseus*, *Bot. Mag. Tokyo* **105**: 405-411
- Hough, T., Bernhardt, P., Knox P. R. and Williams E. G. (1985) Applications of Fluorochromes to Pollen Biology. II. The DNA prpbcs Ethidium Bromide and Hoechst 33258 in Conjunction with the Callose-Specific Aniline Blue Fluorochrome, *Stain Technology* **60** (3) : 155-162
- Huang, B-Q. and Russell, S.D. (1989) Isolated of Fixed and Viable Eggs, Central Cells, and Embryo Sacs from Ovules of *Plumbago zeylanica*. *Plant Physiol.* **90**: 9-12.
- Huang, B-Q., Russell, S. D., Strout, G. W. and Mao L-J. (1990) Organization of Isolated Embryo Sacs and Eggs of *Plumbago Zeylanica* (Plumbaginaceae) Before and After Fertilization, *Amer. J. Bot.* **77** (11) : 1401-1410.
- Huckaby, C. S., Bassel, A. R. and Miller, J. H. (1982) Isolation of Rhizoid and Protoplasts from Gametophytes of the Fern, *Onoclea sensibilis*, *Plant Science Letters* **25**: 203-208
- Jayasekera, R. D. E. and Bell, P. R. (1971) The Synthesis and Distribution of Ribonucleic Acid in Developing Archegonia of *Pteridium aquilinum*, *Planta* **101**: 76-87.
- Jayasekera, R. D. E. and Bell, P. R. (1972) The Effect of Thiouracil on the Viability of Eggs and Embryogeny in *Pteridium aquilinum*, *Planta* **102**: 206-214
- Jensen, W. A. (1965) The Ultrastructure and Composition of the Egg and Central Cell of Cotton, *Amer. J. Bot.* **52** (8) : 781-797.
- Kadota, A. and Wada, M. (1989) Enzymatic Isolation of Protoplasts from Fern Protonemal Cells Stainable with a Fluorescent Brightner, *Plant Cell Physiol.* **30** (8) : 1107-1113
- Kawazu, T., Kawano, S. and Kuroiwa T. (1995) Distribution of the Golgi apparatus in the mitosis of cultured tobacco cells as revealed by DiOC₆ fluorescence microscopy, *Protoplasma* **186**: 183-192.

- Kinsey, B. M., Kassis, A. I., Fayad, F., Layne, W. W. and Adelstein, S. J. (1987) Synthesis and Biological Studies of Iodinated ($^{127/125}\text{I}$) Derivatives of Rhodamine123, *J. Med. Chem.* **30**: 1757-1761
- Krishan, A. (1975) Rapid Flow Cytofluorometric Analysis of Mammalian Cell Cycle by Propidium Iodide Staining, *J. Cell Biol.* **66**: 188-193
- Kuroiwa, H., Sugai, M. and Kuroiwa, T. (1988) Behavior of Chloroplasts and Chloroplast Nuclei During Spermatogenesis in the Fern, *Pteris vittata* L., *Protoplasma* **146**: 89-100.
- Kuroiwa, H. and Kuroiwa, T. (1992) Giant mitochondria in the mature egg cell of *Pelargonium zonale*, *Protoplasma* **168**: 184-188.
- Kuroiwa, H., Ohta, T. and Kuroiwa, T. (1996) Studies on the development and three-dimensional reconstruction of giant mitochondria and their nuclei in egg cell of *Pelargonium zonale* Ait, *Protoplasma*. **192**: 235-244
- Kuroiwa, T. and Suzuki, T. (1980) An Improved Method for the Demonstration of the *in situ* Chloroplast Nuclei in Higher Plants, *Cell Structure and Function* **5**: 195-197
- Kuroiwa, T. (1991) The Replication, Differentiation, and Inheritance of Plastids with Emphasis on the Concept of Organelle Nuclei, *International Review of Cytology* **128**: 1-62
- Lee, C.L. (1955) Fertilization in *Ginkgo Biloba*, *Bot. Gaz.* **117**: 79-100.
- Lepecq, J. B. and Paoletti, C. (1967) A Fluorescent Complex between Ethidium Bromide and Nucleic Acids, *J. Mol. Biol.* **27**: 87-106
- Lewis, S. A., Ivanov, I. E., Lee, G. H. and Cowan, N. J. (1989) Organization of microtubules in dendrites and axons is determined by a short hydrophobic zipper in microtubule-associated proteins MAP2 and tau, *NATURE* **342**: 498-504
- Mogensen, H. L. and Suther, H. K. (1979) Ultrastructure of the Egg Apparatus of *Nicotiana Tabacum* (Solanaceae) Before and After Fertilization, *Bot. Gaz.* **140** (2) : 168-179.
- Myles, D. G. and Bell, P. R. (1975) An Ultrastructural Study of the Spermatozoid of the Fern, *Marsilea vestita*, *J. Cell Sci.* **17**: 633-645
- Myles, D. G. and Hepler, P. K. (1977) Spermiogenesis in the Fern *Marsilea*: Microtubules, Nuclear Shaping, and Cytomorphogenesis, *J. Cell Sci.* **23**: 57-83
- Myles, D. G. (1978) The Fine Structure of Fertilization in the Fern *Marsilea vestita*, *J. Cell Sci.* **30**: 265-281
- Nemoto, Y., Kawano, S., Nakamura, S., Mita, T., Nagata, T. and Kuroiwa, T. (1988) Studies on Plastid-Nuclei (Nucleoids) in *Nicotiana tabacum* L. I. Isolation of Proplastid-Nuclei from Cultured Cells and Identification of Proplastid-Nuclear Proteins, *Plant cell Physiol.* **29** (1) : 167-177
- Partanen, C. R., Power, J. B. and Cocking, E. C. (1980) Isolation and Division of Protoplasts of *Pteridium aquilinum*, *Plant Science Letters* **17**: 333-338
- Pritchard, H. N. (1964) A Cytochemical Study of Embryo Sac Development in *Stellaria media*, *Amer. Jour. Bot.* **51** (4) : 371-378

- Reto, F., Jakob, S., Vreni, J. and Urs-Peter, R. (1994) Fertilization in the fern *Athyrium filix-femina* II. Ultrastructure, *Crypt. Bot.* **4**: 356-367.
- Rothe, G., Oser, A. and Valet, G. (1988) Dihydrorhodamine 123: a New Flow Cytometric Indicator for Respiratory Burst Activity in Neutrophil Granulocytes, *Naturwissenschaften* **75**: 354-355
- Russell, S. D. (1993) The Egg Cell: Development and Role in Fertilization and Early Embryogenesis, *The Plant Cell* **5**: 1349-1359
- Sigee, D. C. and Bell, P. R. (1971) The Cytoplasmic Incorporation of Tritiated Thymidine During Ooogenesis in *Pteridium aquilinum*, *J. Cell Sci.* **8**: 467-487
- Suzuki, T., Kawano, S., Sasaki, A., Fujie, M., Kuroiwa, H., Nakamura, H. and Kuroiwa, T. (1992) Preferential mitochondrial and plastid DNA synthesis before multiple cell divisions in *Nicotiana tabacum*, *J. Cell Sci.* **103**: 831-837
- Suzuki, T., Sasaki, N., Sasaki, A., Kawano, S. and Kuroiwa, T. (1995) Localization of organelle DNA synthesis within the root apical meristem of rice, *J. Experimental Bot.* **46** (282) : 19-25
- Ueda, K. and Tanaka, I. (1995) The Appearance of Male Gamete-Specific Histones gH2B and gH3 during Pollen Development in *Lilium longiflorum*, *DEVELOPMENTAL BIOLOGY* **169**: 210-217
- Wagner, T. V., Kardolus, J. P. and Van Went, J. L. (1989) Isolation of the lily embryo sac, *Sex. Plant Reprod.* **2**: 219-224.
- Watanabe, S. and Ikeda, H. (1995) Cytological Features of the Egg Cell Protoplasts Isolated from Gametophytes of Fern, *Struthiopteris niponica* (Kunze) Nakai, *Plant Tissue Culture Letters.* **12** (2) : 117-123.
- Zhou, C., Orndorff, K., Daghljan, C. P. and DeMaggio A. E. (1988) Isolated generative cells in some angiosperms: a further study, *Sex. Plant Reprod.* **1**: 97-102.

二章

- 市原穰 (1977) シダの培養と観察. 採集と飼育 **39** (2): 86-88.
- 白井英夫 (1972) シダ配偶体の初期発生. 遺伝 **26** (3): 16-22
- 北本みづほ (1977) シダの教材化. 採集と飼育 **39** (12): 634-637.
- 前田柗夫・中村三千代 (1990) シダ類の組織培養－形態形成実験系としての利用－. 遺伝 **44** (2): 43-47.
- 光田重幸 (1988) シダの研究と栽培法. 遺伝 **42** (3): 8-12.
- 百瀬静男 (1965) シダの前葉体の培養法. 遺伝 **19** (11): 59-62.
- 湯浅明 (1966) シダの発生. 遺伝 **20** (9): 46-48
- 渡邊重義・福田香織・池田秀雄 (1992) シダの有性生殖に関する研究. 生物教育 **32** (1): 100-101.
- 渡邊重義・Rodolfo Treyes・池田秀雄 (1998) シダ植物の有性生殖の教材化Ⅱ－連続した受精現象の観察とビデオ教材化－. 生物教育 **38** (3・4): 131-138
- Bell, P. R. (1975) Observation on the male Nucleus during fertilization in the fern *Pteridium aquilinum*, J. Cell Sci. **17**: 141-153
- Bell, P. R. and Duckett, J. G. (1976) Gametogenesis and fertilization in *Pteridium*, Bot. J. Lin. Soc. **73**: 47-78
- Duckett, J. G. and Bell, P. R. (1971) Studies on Fertilization in archegoniate plants I. Changes in the structure of the spermatozoids of *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn during entry into the archegonium, Cytobiologie **4** (3): 421-436
- Duckett, J. G. and Bell, P. R. (1972) Studies on Fertilization in archegoniate plants II. Egg penetration in *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, Cytobiologie **6** (1): 35-50
- Fasciati, R., Schneller, J., Jenni, V. and Roos, U. (1994) Fertilization in the fern *Athyrium filix-femina* II. Ultrastructure, Crypt. Bot. **4**: 356-367
- Huang, B.-Q., Pierson, E. S., Russell, S. D., Tiezzi, A. and Cresti, M. (1992) Video microscopic observations of living, isolated embryo sacs of *Nicotiana* and their component cells, Sex Plant Reprod. **5**: 156-162
- Huang, B.-Q. and Russell, S. D. (1994) Fertilization in *Nicotiana tabacum*: Cytoskeletal modifications in the embryo sac during synergid degeneration, Planta **194**: 200-214
- Lee, C. L. (1955) FERTILIZATION IN *GINKGO BILOBA*, Bot. Gaz. **117**: 79-100
- Manton, I. (1959) Observation on the Microanatomy of the Spermatozoid of the Bracken Fern (*Pteridium aquilinum*), J. Biophysic. And Biochem. Cytol. **6** (3): 413-431
- Mogensen, H. L. and Suthar, H. K. (1979) ULTRASTRUCTURE OF THE EGG APPARATUS OF *NICOTIANA TABACUM* (SOLANACEAE) BEFORE AND AFTER FERTILIZATION, Bot. Gaz. **140** (2): 168-179
- Watanabe, S. and Ikeda, H. (1994) Sexual reproduction of fern as a school subject matter I – Observation of fertilization using fixed materials – , Jpn. J. Biol. Educ. **34** (4): 307-313

- Watanabe, S., Treyes, R. and Ikeda, H. (1998) Sexual Reproduction of Ferns As School Subject Matter II. Observation of the Entire Process of Fertilization and Development of a Video Program as Teaching Material, *Jpn J. Biol. Educ.* **38** (3·4) : 131-138
- White, R. A. and Turner, M. D. (1995) Anatomy and Development of the Fern Sporophyte, *The Botanical Review* **61** (4) : 281-305
- Yuasa, A. (1937) Studies in the cytology of Pteridophyta XIV. Spermatoteleosis and fertilization in some ferns, with special reference to border-brim, *Jpn. J. Bot.* **5**: 17-35.

三章

- 今井紀博・元木恵・重松樫三 (1995) イヌワラビ (マルハチ) の孢子から幼孢子体までの培養. 生物教育 35 (1): 31-32
- 岩槻邦男 (1992) 日本の野生植物シダ. 平凡社
- 加藤旌夫 (1973) 染色体の染め分けのテクニック. 遺伝 27 (7): 38-44
- 加藤富士夫 (1987) ミズワラビの前葉体. 遺伝 41 (9): 72.
- 金森啓祐 (1972) 無孢子生殖と無配生殖. 遺伝 26 (3): 23-28
- 栗山昭 (1995) スギナ前葉体を用いた実験. 遺伝 49 (8): 11-16
- 清水巖 (1975) 前葉体の培養. 教材生物ニュース 1: 14-16.
- 高宮正之 (1988) ゼンマイを用いた核相交代の観察. 遺伝 42 (3): 19-24.
- 辰野誠次・吉田治夫 (1966) ゼンマイ科植物の核学的研究 I. 植物学雑誌 79: 244-252.
- 辰野誠次・吉田治夫 (1967) ゼンマイ科植物の核学的研究 II. 植物学雑誌 80: 130-138.
- 前田樹夫・小西美保・中村三千代 (1995) シダ植物の無孢子生殖. 遺伝 49 (8): 17-21
- 安田啓祐 (1988) シダ類の配偶体世代の観察. 遺伝 42 (3): 13-18.
- 山藤常雄 (1979) シダの世代交代. 教材生物ニュース 43: 637-638
- 湯浅明 (1966) シダ植物の染色体. 遺伝 29 (10): 48
- 湯浅明 (1986) シダ類の細胞学. 採集と飼育 48 (5): 206-213
- 湯浅明 (1988) 生物教育とシダ. 遺伝 42 (3): 4-7
- 湯浅明 (1982) シダ類精子の観察法 I. 教材生物ニュース 82: 96-97.
- 米沢義彦・田中隆荘・A. S. チョードリ・池田秀雄 (1981) 体細胞分裂と DNA の観察. 遺伝 35 (3): 16-21
- Binding, H. and Mordhorst, G. (1991) Gametophyte Regeneration and Apospory from Archegoniate Protoplasts Under Conditions Devised for Higher Plants, Bot. Acta 104: 330-335
- Dyer, A. F. (1979) Investigating Chromosomes. Edward Arnold (Publishers) Ltd
- Hickok, L. G. and Klekowski Jr, E. J. (1973) Abnormal reductional and Nonreductional meiosis in *Ceratoris*: Alternatives to homozygosity and hybrid sterility in homosporous Ferns, American Journal of Botany 60 (10): 1010-1022.
- Hickok, L. G. (1979) Apogamy and somatic restitution in the fern *Ceratopteris*, American Journal of Botany 66 (9): 1074-1078.
- Hickok, L. G. and Warne, T. R. (1988) C-Fern Manual. Carolina Biological Supply Company, Burlington
- Mirsch, A. M. (1975) The Effect of Scrose on the Differentiation of Excised Fern Leaf Tissue into Either Gametophytes or Sporophytes, Plant Physiol. 56: 390-393
- Richards, J. H., Beck, J. Z. and Hirsch, A. M. (1983) Structural investigations of asexual reproduction in *Nephrolepis exaltata* and *Platyserium bifurcatum*, American Journal of Botany 70 (7): 993-1001
- Takahashi, C. (1962) Cytological Study on induced Apospory in Ferns, Cytologia 27: 79-96

総合考察

ーシダ植物の教材化ー

第一節 実験・観察教材としてのシダ植物

小学校の実験・観察におけるシダ植物の扱いには、遊びの「スギナの継ぎ目あて」、生活に直結した「ウラジロの飾り」といった活動、日の当たらない場所に生育している植物の観察があった。しかし、これらすべてに共通して『シダ植物』という言葉の記載はなく、シダ植物について扱った実験・観察としてではなく、身近な植物を用いた活動として導入されたものである。

中学校の実験・観察におけるシダ植物の扱いには、「からだのづくり」、「胞子の観察」が中心となり、シダ植物を扱っていたほとんどの学習指導要領下で実験・観察が行われていた。その結果、胞子で殖えるという特徴が中心になっていた。材料としてはワラビ・ノキシノブ・オシダ・イヌワラビ・スギナ・ゼンマイ・ベニシダ・オクマワラビの8種が扱われていたが、『シダ（ワラビ）』のように記載されていたものを含めると、半数以上の教科書が材料を『シダ』としており、実際に記載された種名は実験・観察に適した材料という観点よりも、分布が広く、入手が可能であるということが重視された。

高等学校の実験・観察におけるシダ植物は、中学で扱われていた「からだのづくり」、「胞子の観察」の他に、「胞子の培養」、「前葉体の観察」などが扱われ、シダ植物の生活環を中心としたものである。しかし、実験・観察を扱った教科書は半数以下であり、材料としても中学と同様に『シダ（ワラビ）』のように記載されていたものを含めると半数以上の教科書が材料を『シダ』としていた。

以上より、今まで実験・観察に扱われていたシダ植物は、広い地域に分布していることが第一条件となっている。また、『シダ』とのみ記載されている教科書が多いことから、地域に生育しているシダ植物を材料とする意図も伺える。

シダ植物は、「種子をつくらないで、維管束を持った胞子体（無性世代）と、それと離れて独立栄養を営む配偶体（有性世代）とで規則正しい世代の交代を行う植物」と定義され、これをもとに現行の学習指導要領の内容の項目との関係を概略図として作成した（Fig. 22）。これらのシダ植物に関する特徴は、今までに生物で扱われた「生物体の構造と機能」の細胞と代謝、「生命の連続性」の生殖と発生、「生物の進化と系統」と関連しており、この内容は現行の生殖関係でも扱うことが可能である。また、従来の観察・実験は、胞子の培養とからだのづくりの観察しか扱われていなかったが、前葉体の形態が複雑でなく、胞子のうがからだの外部で形成されることから受精や減数分裂の観察なども可能であり、受精のしくみの説明も容易である。被子植物の場合は植物の一般例となり、教科書で主教材として扱われているが、胞子体と配偶体の区別がつきにくく、胚嚢が多くの細胞で包まれているなどの問題があり、実験・観察にはあまり適していない。

この図で示したシダ植物で行える実験・観察を、現在までに扱われていた実験・観察と比較すると、体細胞分裂・減数分裂の細胞分裂、受精の実験・観察があまり扱われていなかったことが分かる。この点もシダ植物の新しい教材開発の観点として利用可能である。

現在まで、シダ植物の教材開発を行う場合、無性世代（胞子体）と有性世代（配偶体）の形態観察が容易である、胞子形成や受精を含めた生活史のほぼすべての段階が観察可能であるといった特徴をふまえた、観察・実験面からのアプローチが多くなっている。

シダ植物の多くは分布が広く、日本各地で採集可能なものが多い。しかし、ほとんどの

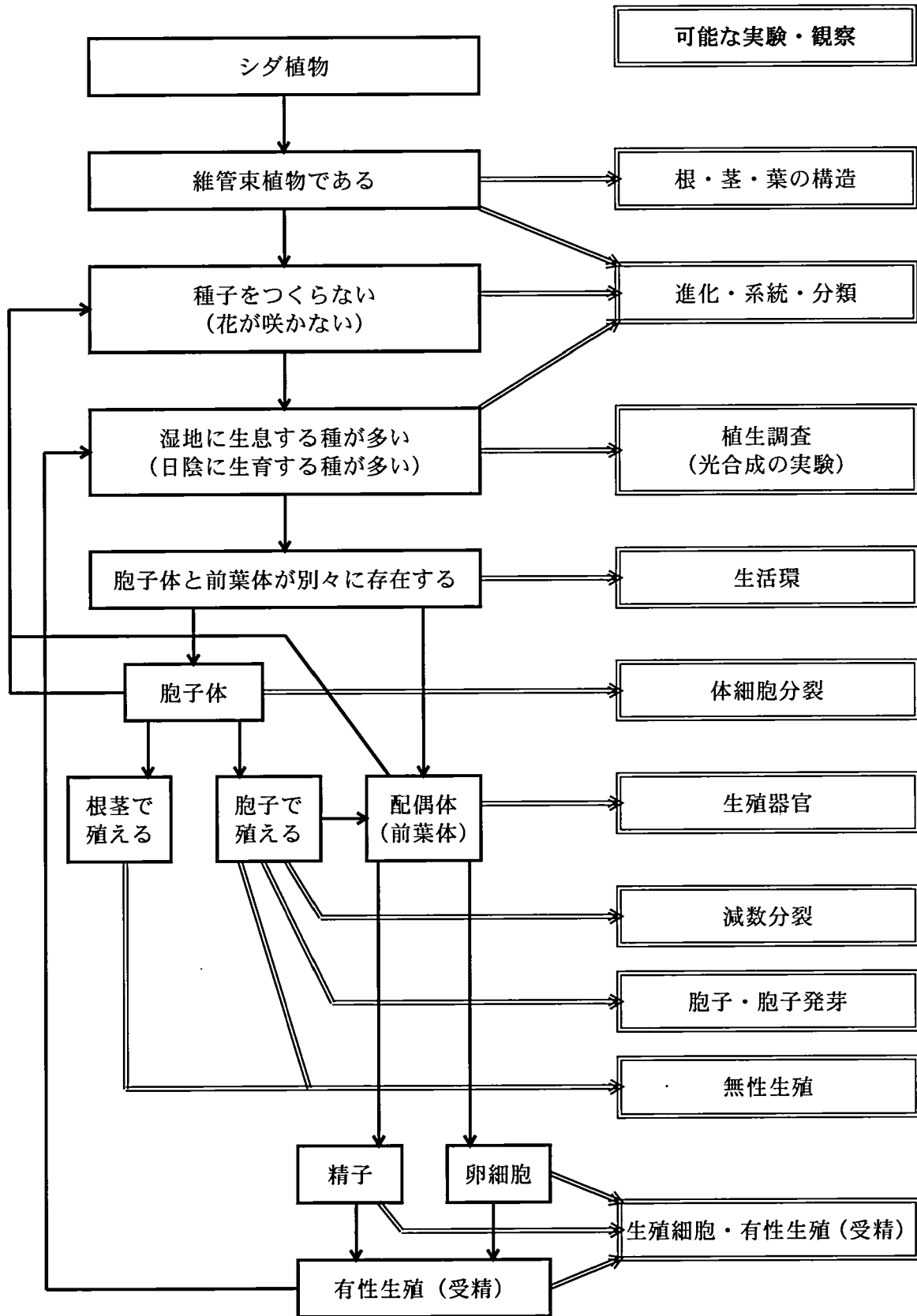


Fig.22 シダ植物の関連図

シダ植物の認知度は低く、また、分類も困難な種も多いため、教材を選択する場合は、認知度が高く、同定が容易な材料を選択する必要がある。また、生活に利用されて身近なものが望ましい。さらに、材料確保を考えると、日本各地で材料が採集できることが必要である。実際に、教科書で扱われるシダ植物の大半が日本各地に分布している。

教科書でよく扱われるものには、ワラビ、ゼンマイ、ツクシがあり、これらは山菜として日本人に密着したものである。教科書で扱われていたシダ植物と生活に利用されてきたシダ植物を比較すると、ワラビ、ゼンマイ、スギナをはじめ、教科書に使われたシダ植物の約半数（属では約2/3）が、生活において何らかの形で利用されている。しかし、現在では薬用をはじめ、その多くの利用は減少している。

生活との関わりを考慮すると、全国に分布していなくても、オオタニワタリのように一部の地域で食料や観賞用として利用されているならば、その地域における認知度は高い。そのため、地域教材として開発することが可能となる。このような教材は、地方の文化として総合学習などの利用も期待できる。また、観賞用としてのシダ植物の利用は増加しているため、観賞用のシダ植物は、入手が容易な植物として利用できると考えられる。

これらの結果から、シダ植物の教材化について考慮すべき点を次に挙げる。

- ① 分布が広く、知名度が高い
- ② 分布が狭い場合は生活に利用されていること
- ③ 材料の確保および同定が容易であること
- ④ 胞子体・前葉体が典型的な形（胞子体は複葉・前葉体はハート型）をしていること
- ⑤ 培養が簡単であること

第二節 シダ植物の教材としての特性の考察

第一節を受け、シダ植物の教材性について以下のような示唆が得られた。

第一に、「進化」の理解のためにシダ植物を扱う必要がある。進化に関しては現行の学習指導要領のもとでも扱われている。しかし、進化の特徴をふまえるためには、種子植物とシダ植物の生物学的特徴をそれぞれ把握する必要があるため、シダ植物のからだのつくりや生殖様式も扱うべきであろう。また、生殖を扱う上では生命の連続性を学習する必要があり、その説明には胞子体世代と配偶体世代が異なるシダ植物を扱うことで容易に生物の連続性が説明できる。以上のように、進化を理解するためには種子植物以外の植物の特徴を押さえる必要があるため、シダ植物も重要な教材であることが分かる。

第二に、現在環境教育が重要視されるようになっている。その中心概念は「自然界の物質循環及び調和」であり、環境を学習するためには自然を総合的に理解する必要があり、そのためには校内などの狭い環境にとどまらず、森林などの広い環境も理解しなければならない。したがって、森林を構成する植物であるシダ植物についての学習も必要になることが分かる。実際に森林などに行くと種子植物以外の植物に触れる機会は増えるはずである。

以上のように、シダ植物は、身近な植物で材料を確保しやすい、無性世代（胞子体）と有性世代（配偶体）の形態がはっきりしているうえ、それぞれ独立して存在するために観

察が容易である、孢子形成や受精を含めた生活史のほぼすべての段階が観察可能である、生活に密着している、全国で採集が可能であるなど、教材に利用可能な特性を多く持っている。

一方で、シダ植物を小学校や中学校において扱うことは、現行の学習指導要領では困難である。しかし、上記の通り、教材としての利用価値は高い。また、シダ植物は日本全国に生育し、形態もよく類似している。そのため、特定の種を用いなくても形態観察は容易であり、地域教材の開発が容易な植物である。さらに、生活に利用されているシダ植物を扱うことで、地域や総合学習における教材としての開発が可能になり、新しい地域教材としてシダ植物が利用できる。したがって、シダ植物は新指導要領では減少傾向にあるが、取り入れる価値のある教材であり、また、教材開発は必要なものであると考えられる。

現在、中高一貫性の学校がえられるなど、学校段階間の連携は今以上に必要になる。しかし、現行のカリキュラムでは、各学校段階における関連性が弱い。したがって、小・中・高等学校を通しての関連性を重視し、それぞれの学校段階の基礎を統一する必要がある。そのためには、各学校間における内容の重複をなくす、特に小・中学校において生物種の例示を増やし、生物の多様性にも対応させることなどが、新しいカリキュラムの基本方針になると考えられ、シダ植物はこの方針に沿った教材の一つであると考えられる。

第三節 新しい教材の選択例

第一部三章をもとに、新しい教材としてのシダ植物を選択した (Table16)。

第一の条件として知名度を考慮した。知名度は第一部第二章の Table12 において生活に多方面 (2つ以上) で利用されているシダ植物を選択した。その結果、マツバラン・ヒカゲノカズラ・マンネンスギ・ミズスギ・スギナ・トクサ・ミヤマコジマハナワラビ・ゼンマイ・コシダ・ウラジロ・カニクサ・ヘゴ・マルハチ・タカワラビ・ワラビ・ホウライシダ・ハコネシダ・ホコシダ・オオタニワタリ・ヤブソテツ・オシダ・クサソテツ・イッポンワラビの 23 種があてはまった。

この中から第二の条件として分布を考慮した。分布は第一部第二章の Table13 において 7 地区以上に分布しているものを選択した。その結果、マツバラン・ヒカゲノカズラ・マンネンスギ・スギナ・ゼンマイ・コシダ・ウラジロ・カニクサ・ワラビ・ハコネシダ・ヤブソテツ・オシダ・クサソテツの 13 種があてはまった。逆に、ミヤマコジマハナワラビ・ヘゴ・マルハチ・タカワラビ・ホコシダ・オオタニワタリの 6 種は分布が一部の地域にしかなかったため、地域教材として利用できると考えられる。

この中からさらに第三の条件として形態を考慮した。教科書で扱われるシダ植物の前葉体はハート型となっており、マツバラン科・ヒカゲノカズラ科・トクサ科は前葉体の形がハート型をとらない特殊な形であるため除外され、残りのゼンマイ・コシダ・ウラジロ・カニクサ・ワラビ・ハコネシダ・ヤブソテツ・オシダ・クサソテツの 9 種があてはまることになる。この中で、ゼンマイとワラビは教科書の実験・観察でよく用いられていた。コシダ・ウラジロ・ヤブソテツ・オシダは実験・観察教材としてはあまり扱われていなかったものの、初等・中等段階で用いられたことがあるため、実験・観察材料として扱うこと

Table 16 新しい教材としてのシダ植物の選択

利用	分布	形態
マツバラ科 マツバラ属 マツバラ	○ ○ ○	
ヒカゲノカズラ科 ヒカゲノカズラ属 ヒカゲノカズラ スギラン ヒカゲノカズラ マンネンスギ ミスズギ	○ ○ ○ ○ ○ ○	
イワヒバ科 イワヒバ属 イワヒバ カタヒバ イヌカタヒバ	○ ○ ○	
トクサ科 トクサ属 トクサ スギナ イヌスギナ フサスギナ トクサ ヒメトクサ	○ ○ ○ ○ ○ ○	
ハナヤスリ科 ミヤコ シマハナワラビ属 ミヤマコジマハナワラビ ハナワラビ属 ハナワラビ フユノハナワラビ ナツノハナワラビ	○ ○ ○ ○ × ○	→ 地域教材の可能性
リュウビエンタイ科 リュウビエンタイ属 リュウビエンタイ ヒノタニリュウビエンタイ	○ ○ ○	
ゼンマイ科 ゼンマイ属 ゼンマイ ヤマドリゼンマイ	○ ○ ○	→ 実験・観察教材で利用
キジノオシダ科 キジノオシダ属 キジノオシダ ヤマソテツ	○ ○ ○	
ウラボシ科 コシダ属 コシダ ウラボシ属 ウラボシ	○ ○ ○	→ 教材で利用
フサシダ科 カニクサ属 カニクサ イリホモテシヤミセンズル	○ ○ ○	→ 新しい教材の可能性
ヘゴ科 ヘゴ属 ヘゴ マルハチ ヒカゲヘゴ クロヘゴ	○ ○ × ○ ×	→ 地域教材の可能性 → 地域教材の可能性
タカワラビ科 タカワラビ属 タカワラビ	○ ○ ×	→ 地域教材の可能性
コバノイシダマ科 ワラビ属 ワラビ	○ ○ ○	→ 実験・観察教材で利用
ホソグウシダ科 ホソグウシダ属 ホソグウシダ	○ ○ ○	
シノブ科 シノブ属 シノブ	○ ○ ○	
ツルシダ科 タマシダ属 タマシダ	○ ○ ○	
ホウライシダ科 ミズワラビ属 ミズワラビ エビガラシダ属 ヒメワラシロ ホウライシダ属 ホウライイグジャク ホウライシダ ハコネシダ クジャクシダ	○ ○ ○ ○ ○ ○	→ 新しい教材の可能性
イノモトソウ科 ミミモチシダ属 ミミモチシダ イノモトソウ属 イノモトイノモトソウ ホコシダ	○ ○ ○	→ 地域教材の可能性
チャセンシダ科 チャセンシダ属 チャセン コタニワタリ オオタニワタリ シマオオタニワタリ	○ ○ ○	→ 地域教材の可能性
オシダ科 ヤブソテツ属 ヤブソテツ オニヤブソテツ ヤブソテツ オシダ属 オシダ チリメンシダ	○ ○ ○ ○ ○ ○	→ 教材で利用 → 教材で利用
イワテンダ科 クサソテツ属 クサソテツ コウヤクワラビ属 イヌガソソク メシダ属 イヌワラビ シケチシダ属 イッポクワラビ ヘラシダ属 ミヤマシダ クワレシダ	○ ○ ○ ○ ○ ○	→ 新しい教材の可能性
ウラボシ科 ヒトツツバ属 ヒトツツバ カザリシダ属 カザリシダ	○ ○ ○	

○：使用可能 ×：一部の地域に生息 △：少し難あり

が可能である。カニクサ・ハコネシダ・クサソテツは、今日までほとんど教材として用いられることはなく、本研究によって新しい教材として提案する。

以上のような方法を用いると、全国的に生活環を含めた教材として利用できるシダ植物を選択できる。しかし実際は、生活環の観察などを行うことで、さらに教材に適しているかどうかを確認する必要がある。

第四節 海外におけるシダ植物の教材化

シダ植物は、日本以外では熱帯から温帯にかけての湿潤な地域を中心に生育している。シダ植物が生育している地域では、日本と同様に、食用、薬用、繊維、染料などでシダ植物を利用し、人間の生活に深い関わりがある。

栗田（1988）によると、最も数多くの民族によって食用されているのは、汎世界的に分布するワラビであり、その食べ方は根茎を食べることが中心であるものの、カナリア諸島では地下茎のデンプンをパンにし、シベリアやノルウェーではビールの醸造に利用するなど様々である。また、ワラビと同様に、ゼンマイ、ヤマドリゼンマイ、クワレシダ、ミヤコジマハナワラビなど日本でも食べられているものもあれば（Table12 参照）、リュウビンタイ、ヘゴ属やタカワラビ属など、日本では食べられていないシダ植物もあり、食用となるシダ植物の数はかなりのものになると報告している。薬用としては、クジャクシダ属、チャセンシダ属、オシダ属を中心に少なくとも 150 種ものシダ植物が利用されている。日本を除くと、薬用としての利用が多い国は中国とされている。繊維としては、ワラビを筆頭に、カニクサ科、シシガシラ科、トクサ類、ヒカゲノカズラ類が漁具やロープなどの材料に利用されている。染料としてはワラビを筆頭に、トクサ類、ヒカゲノカズラ類が利用されている。

教材としては、例えば湿潤な気候であるバングラデシュの教科書を調査すると、初等教育段階の教科書でシダ植物の扱いがあった。その扱いは4学年での植物の分類であり、この章ではシダ植物の構造と胞子のつきかたが絵入りで説明されている。また、活動としては胞子体の観察があり、その材料は現地のシダ植物（種小名は不詳）が材料として扱われていた。

以上のように、シダ植物は日本以外でも生活に深く関わりのある植物であることが分かる。また、他の国では初等教育段階から分類を扱うなど、シダ植物を扱う機会があった。しかし、どの国においても、バングラデシュのように教科書で扱うシダ植物の種類が限定されておらず、実際、日本でも『シダ植物』とだけ記述している教科書が多数あった。これは教材としてのシダ植物を各学校で選択する必要があり、第三節で採用した生活との関わりと分布を考慮する選択方法がどの国においても利用できることを意味している。さらにこの方法を利用すると、その国独自の教材が開発できることになる。

一方で、寒冷地や乾燥地などシダ植物が生育していない地域もある。このような地域に対しては、簡単に観察や実験、培養が行えるシダ植物を供給するシステムや教材を開発する必要があると考えられる。

第五節 教材提供の方法についての検討

シダ植物は前述した通り、入手が容易な植物である。しかし、シロヤマゼンマイのように一部の地域にしか生育していないシダ植物が実験に適している場合もあり、この場合は材料の入手が困難である。そのため、このような入手困難なシダ植物に関しては、教材提供システムを確立する必要がある。ここでは、その方法について検討した。

現在のシダ植物の教材提供システムとしては、会社による教材販売がある。日本においては、京都化学（株）がシダ植物の培養・栽培キットを販売し、アメリカにおいては栽培キットと観察のマニュアル・観察ノートがセットになった教材を販売している。

京都科学の販売キットには、「シダ簡易栽培セット」「シダ植物培養キット」「シダの生活史プレパラート」「シダの生活史観察キット」の4種があり、栽培・培養キットが胞子の栽培・培養を、プレパラートや観察キットは、胞子から前葉体に加え、幼胞子体の観察ができるようになっている。また、材料はすべて共通して外国産のワラビとコモチシダの仲間を扱っており、日本のシダ植物はまったく扱われていなかった。

販売キットとは別に、シダ植物は園芸店やインターネットで購入できる。観賞用のシダ植物はシノブやヒトツバの仲間が多く扱われ、鉢植えとして販売されている。そのため、そのまま実験材料として用いることが可能である。それに対し、食用のシダ植物のほとんどは山菜として市販されており、食用として加工したものである。そのため、そのまま実験材料として用いることはほとんど不可能である。しかし、パックとして出荷するために山菜であるワラビやクサソテツは栽培システムが確立されている(赤池, 2001、阿部, 2003)。

教材としてシダ植物を確保する方法は採集あるいは園芸品種を購入すること以外にはほとんどないのが現状である。しかし、実験・観察に適したシダ植物を確保することは、種によっては困難である。そのため、現在行われている教材提供の方法や栽培システムを参考にして、新しく教材提供システムの開発も行う必要がある。

第六節 まとめ

序章でも述べた通り、シダ植物は「種子をつけない維管束植物であるが、胞子体と配偶体がそれぞれ独立に生活しており、胞子体が優勢で、配偶体は目立たない姿をとる生物」、「維管束植物のうちで、種子植物段階まで進化せず、胞子段階にとどまっている植物」(岩槻 1992)とされ、胞子体と配偶体がそれぞれ独立して存在している。このような特徴は、世代交代の時期・形態がはっきりしている、受精様式が被子植物より簡素であるなどの理由により、生命の連続性や受精のメカニズムの説明に適している。実際に、現行の学習指導要領を除けば、「生命の連続性」において世代交代の説明に種子植物以外のシダ植物やコケ植物が扱われていた。

第二部では、生殖細胞・受精・細胞分裂に関する教材開発を行った。

生殖細胞の観察は、植物にも雌雄があり、動物と同様に生殖細胞を形成することを理解させることに役立つ。種子植物では、生殖細胞の観察が困難であり、また、形成過程も核分裂が数回行われるなど複雑である。しかし、シダ植物は精子と卵細胞の形成だけである

ため、観察も容易で説明も行いやすい。本研究で卵細胞の DNA 分布などの特徴を調べた結果、種子植物と大差がなかったため、種子植物の代わりに使用しても問題はないものと思われる。

受精の観察は、種子植物では花粉管の成長の観察以外は困難なため、造卵器に侵入した後の精子の挙動まで観察することができた。種子植物では、重複受精という受精形式をとっている、受粉があるなど、複雑な過程になっており、花粉管の成長の観察以外は困難である。そのため、植物の受精の理解および世代交代の理解に役立つと思われる。

染色体の観察は、染色体数が 44 本と多かったものの、染色体の数を数えることが可能であり、さらに体細胞分裂と減数分裂を同じ種で観察することが可能となった。これにより、体細胞分裂と減数分裂が比較でき、これらの細胞分裂の違いの理解に役立つと思われる。

以上の点からシダ植物の教材性について以下のように考察した。

第一に、現在環境教育が重要視されるようになってきている。その中心概念は「自然界の物質循環及び調和」であり、環境を学習するためには自然を総合的に理解する必要もある。そのためには校内などの狭い環境にとどまらず、森林などの広い環境も理解しなければならない。したがって、森林を構成する植物であるシダ植物についての学習も必要になることが分かる。実際に森林などに行くと種子植物以外の植物に触れる機会は増えるはずである。また、生活との関わりも観点におくと、第一部で述べたように、山菜のワラビやゼンマイなど身近な種が多く、教材として扱いやすい種であるとも言える。

第二に、「進化」の理解のためにシダ植物を扱う必要がある。進化に関しては現行の学習指導要領で扱われている。しかし、進化の特徴をふまえるためには、種子植物とシダ植物の生物学的特徴をそれぞれ把握する必要があり、その基礎としてシダ植物のからだのつくりや生殖様式の学習が必要になる。

第三に、生殖を扱う上では生命の連続性を学習する必要がある。この生命の連続性の説明は、孢子体世代と配偶体世代が異なるシダ植物を扱うことで、種子植物よりも容易に行える。実際に、二部のように生命の連続性に深く関わる教材であり、また、身近な材料で入手方法も容易であるため、新しい教材開発も行える材料である。

以上のように、シダ植物は、身近な植物で材料を確保しやすい、無性世代（孢子体）と有性世代（配偶体）の形態がはっきりしているうえ、それぞれ独立して存在するために観察が容易である、孢子形成や受精を含めた生活史のほぼすべての段階が観察可能である、生活に密着している、全国で採集が可能であり、現在では園芸によく利用されているため入手経路が多様であるなど、教材に利用可能な特性を多く持っている。この生活との関わりを考慮すると、地域教材の開発や環境教育などの新しい観察・実験の開発も可能である。さらに、受精の過程が被子植物と比較して簡素であるため生命の連続性の説明が容易になり、加えて、被子植物との比較により植物の進化を扱うことも容易になる。したがって、シダ植物は新指導要領では減少傾向にあるが、取り入れる価値のある教材であると考えられる。

参考文献

- 赤池一彦 (2001) 新特産シリーズ ワラビ 早期成園化と多収栽培の実際. 農文協
- 阿部清 (2003) 新特産シリーズ クサソテツ (コゴミ) 計画的な株増殖による安定栽培と利用. 農文協
- 雨宮一夫 (1994) 新しい学力観にもとづく生物教育の探求 (1). 生物教育 34 (1): 31-32
- 安東久幸 (1990) 生物教科書の歴史 -「生殖・発生」を中心として-. 生物教育 30 (1): 28
- 岩内弘昌 (1989) A区分「生物とその環境」の改訂のねらいと内容の構成 -科学的見方、考え方を育てる斬新な改訂-. 理科の教室 38 (6): 378-382
- 生方秀紀 (1992) 生態学の基本概念とそれに関連する理科の教科内容 (Ⅱ) -高等学校生物教育における「個体数の変動」のカリキュラム試案-. 生物教育 32 (4): 241-247.
- 奥井智久 (1989) 小学校学習指導要領「理科」の改訂の基本的な考え方. 理科の教室 38 (6): 372-377
- 金井塚恭裕 (1998) 次期教育課程の中学校理科の生物領域の学習内容を考える. 生物教育 38 (1): 40-42
- 北浦隆生 (1994) 新教育課程 高校生物の問題点を探る. 生物教育 34 (1): 29-30
- 北本みづほ (1977) シダの教材化. 採集と飼育 39 (12): 634-637
- 栗田子郎 (1988) シダの民族植物誌. 遺伝 42 (3): 25-30
- 栗山昭 (1995) スギナ前葉体を用いた実験. 遺伝 49 (8): 11-16
- 小林徳夫 (1993) 中学校生物領域の指導の問題点と展望. 理科の教室 42 (5): 312-315
- 坂井武夫 (1988) 小学校における生物教育. 生物教育 28 (1): 2-8
- 櫻橋賢次・久保田鷹光 (1988) 小学校の生物教育. 生物教育 28 (1): 9-12
- 田幡憲一・佐藤かな子 (1993) 挿し木からクローン増殖へ -小学校・中学校での学習を踏まえた高等学校生物の指導-. 理科の教室 42 (5): 320-323
- 中谷卓司・丹沢哲郎 (1993) 中学校理科の新学習指導要領を踏まえた新しい生物指導の展開 -遺伝内容を主として-. 理科の教室 42 (5): 308-311
- 中西克爾 (1993) 高等学校における生物教育の課題. 理科の教室 42 (5): 316-319
- 根本和成 (1985) 生物教育における分類教材の視点 -イギリス・アメリカの中等教育教科書との比較を中心として-. 生物教育 26 (3): 193-199
- 橋本健夫 (1997) 動物及び植物の理科教育における教材としての役割. 理科の教室 46 (5): 292-295
- 畑中忠雄 (1989) 学習指導要領第二分野の改訂と内容の構成. 理科の教室 38 (7): 456-460
- 山岡剛 (1997) 小学校の教科書及び学習指導要領における生物教材の扱いについて -学習意欲の観点から-. 理科の教室 46 (5): 296-299
- 山極隆 (1989) 中学校学習指導要領「理科」の改訂の基本的立場. 理科の教室 38 (7): 444-449
- 山崎敬人・白神聖也 (1996) 高等学校理科「生物」における実践上の問題点. 理科の教室 45 (9): 594-597
- 湯浅明 (1988) 生物教育とシダ. 遺伝 42 (3): 4-7
- 湯浅明 (1986) シダ類の細胞学 生活史や内部形態、染色体数の研究など. 採集と飼育 48 (5): 206-213

- Chilton, G. and Graham, L. C. (1988) Culturing fern gametophytes on solid mineral media for classroom study, *Journal of Biological Education* **22** (2) : 110-112
- Hickok, L. G. and Warne, T. R. (1988) *C-Fern Manual*. Carolina Biological Supply Company, Burlington
- Hickok L. G., Warne, T. R. and Fribourg, R. S. (1995) THE BIOLOGY OF THE FERN CERATOPTERIS AND ITS USE AS A MODEL SYSTEM, *Int. J. Plant Sci.* **156** (3) : 332-345
- Matlack, C. R. (1998) Growing Fern Gametophytes in the Classroom, *The American Biology Teacher* **60** (8) : 594-595

謝 辞

本研究を進めるにあたり、広島大学の諸先生方および同学理科内容学研究室の諸氏など多くの方々のお世話になりました。

まず、指導教官である池田秀雄教授には、研究の計画から実施、さらには論文の校閲に至るまで、多方面にわたり多大なご指導を賜りました。心より深く御礼申し上げます。落合洋名誉教授からは、研究に対するご助言や叱咤激励のお言葉を何度となく頂きました。ここに深甚なる謝意を表します。

角屋重樹教授、笠井達哉教授、田畑佳則教授、馬場卓也准教授からは教育学的な観点から、本研究に対してそれぞれご指導やご助言をいただきました。深謝いたします。

また、研究と論文を作成する際において、数多くのご指導やご助言を頂いた愛媛大学の渡邊重義准教授、北海道教育大学の大鹿聖公准教授、フィリピン大学理数科教師訓練センターの生物主任研究員である Treyes Rodolfo 氏をはじめ、研究と論文作成の過程において数々の協力を頂いた理科内容学研究室の諸氏に深く感謝いたします。

さらに、実験材料を提供して頂いた名古屋市立東山植物園の関係者にも深く感謝の意を表します。

最後に、本論文をまとめる際に、様々なご配慮や有形無形のご助言・ご協力を頂いたすべての方々に心から感謝致します。

2008年1月28日

川上 敏行